

Ministère
de l'Équipement,
du Logement,
des Transports
et du Tourisme
DRAST



MODÈLE STRATÉGIQUE DE DÉPLACEMENTS DE L'AGGLOMÉRATION LYONNAISE

VERSION 1

**Tests de sensibilité, erreurs et
incertitudes liées à la prévision**

Décision d'aide à la recherche n° 96MT0012



janvier 1998

Modèle stratégique de
l'agglomération lyonnaise.
(MoStraLyon version 1)

Tests de sensibilité, erreurs et
incertitudes liées à la prévision

Janvier 1998

Rapport élaboré par
Charles RAUX

Vérifié par
Vincent LICHERE (SEMALY)
Sophie MASSON (LET)

Réf : Rapport tests modèle stratégique.doc-CR-23/01/98

LABORATOIRE D'ECONOMIE DES TRANSPORTS (Unité Mixte de Recherche du CNRS n°5593)	
à l'Université Lumière-Lyon 2 :	à l'Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat :
LET M.R.A.S.H. 14, avenue Berthelot 69363 LYON Cedex 07 Téléphone +33 (0) 4 72 72 64 03 Télécopie +33 (0) 4 72 72 64 48	LET E.N.T.P.E. rue Maurice Audin 69518 VAULX-EN-VELIN Cedex Téléphone +33 (0) 4 72 04 70 46 Télécopie +33 (0) 4 72 04 70 92
E-mail : let@let.mrash.fr Web : http://www.mrash.fr/let	

Sommaire

1. INTRODUCTION	7
2. LE MODÈLE STRATÉGIQUE DE L'AGGLOMÉRATION LYONNAISE	11
2.1. Le fonctionnement en pas-à-pas et la prise en compte des rétroactions.....	13
2.2. Une décomposition en motifs.....	14
2.3. Les sous-modèles	15
3. ERREURS SUR LES DONNÉES ET ERREURS DU MODÈLE	21
3.1. Comment évaluer les erreurs liées aux données d'enquête ?	21
3.2. L'évaluation des erreurs dues au modèle	23
4. SENSIBILITÉ DU MODÈLE STRATÉGIQUE À QUELQUES GRANDES ÉVOLUTIONS TENDANCIELLES DU CONTEXTE.....	27
4.1. La sensibilité au trafic de transit et d'échange de l'agglomération	29
4.2. La sensibilité à l'évolution de la population et des emplois.....	35
4.3. La sensibilité aux revenus et à la motorisation.....	40
4.4. La sensibilité à l'offre routière	43
5. UNE EXPLORATION DES SOURCES D'INCERTITUDES DANS LA PRÉVISION	51
5.1. Les différentes catégories d'erreurs et d'incertitudes testées	51
5.2. La mesure de ces erreurs ou incertitudes.....	52
5.3. Les résultats.....	53
6. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES.....	59
7. ANNEXE LES DIFFÉRENTES SPÉCIFICATIONS INITIALES DES MODÈLES LOGIT DE CHOIX MODAL	61

Résumé

Ce rapport présente une analyse des erreurs, de la sensibilité et du jeu des différentes sources d'incertitudes dans la formation des estimations de prévision, dans le cadre du modèle stratégique de l'agglomération lyonnaise (MoStraLyon version 1, février 1997). Le but de ce rapport est d'évaluer les capacités et les faiblesses du modèle dans sa version actuelle, pour pointer les principales directions de son amélioration vers des versions futures.

Les principales caractéristiques du modèle sont rappelées dans une première section, celles-ci ayant déjà été détaillées dans une série de précédents rapports (*Guide de l'utilisateur*, SEMALY, LET, 1997a ; *Présentation générale*, SEMALY, LET, 1997b).

Les analyses des erreurs du modèle par comparaison avec les erreurs de mesure découlant des enquêtes, montrent qu'il existe encore une marge d'amélioration en ce qui concerne la distribution spatiale des déplacements et le choix modal. Les principaux points à corriger sont :

- la sous-estimation de la marche à pied, notamment dans Lyon-Villeurbanne : cela passe probablement par une correction de l'étape de choix modal qui débute par une estimation des déplacements en modes légers, fonction de la surface de la zone et de sa motorisation moyenne. Par exemple, cette procédure ne prend que très imparfaitement en compte les déplacements à pied réalisés dans Lyon-Villeurbanne par les non-résidents (dont les caractéristiques n'influent pas sur le paramètre de motorisation moyenne de la zone) ;
- la surestimation des déplacements en transports en commun et en voiture particulière, découlant probablement de la précédente erreur sur la marche à pied ;
- les erreurs sur les flux en voiture particulière entre couronnes et à l'intérieur de ces couronnes : les efforts devraient porter sur le modèle de distribution gravitaire.

La sensibilité du modèle à quelques grandes évolutions tendanciennes du contexte a ensuite été analysée. Il s'agit de :

- du trafic de transit et d'échanges tel qu'extrapolé à partir des enquêtes cordon ;
- de la population et des emplois ;
- des revenus, valeur du temps et motorisation ;
- de l'offre routière.

Les trois premiers paramètres apparaissent comme ayant les effets les plus sensibles sur le modèle. Cette analyse montre l'importance de ce contexte dans la formation des prévisions, ainsi que la capacité du modèle à mettre en évidence le jeu séparé des différentes composantes de ce contexte. L'importance du rôle de ce dernier est confirmée par l'exploration des sources d'incertitudes.

Cette exploration des facteurs d'incertitude et de leurs importances relatives dans la formation des prévisions permet d'en dresser un bilan.

La principale incertitude de type I (erreurs d'estimation), ici la forme de la courbe débit-vitesse, nécessite des investigations plus poussées pour valider la robustesse de cette courbe.

Les incertitudes de type exclusivement II (erreurs de prédiction du contexte) ou III (erreurs de projection dans le futur des mécanismes actuels de comportements), ne peuvent être maîtrisées que par une stratégie de « maîtrise pragmatique de l'incertitude ».

Un exemple d'incertitude du type III est le couplage entre motorisation, mobilité et usage de la voiture. La tendance passée, reflétée dans la spécification et le calage des différents sous-modèles, est celle d'un impact direct de la motorisation sur l'usage de la voiture et l'intensité de déplacement. Cependant on ne peut exclure que, dans un futur proche, les politiques de gestion de la demande puissent provoquer un découplage entre motorisation et intensité d'usage de la voiture, par analogie avec le découplage observé entre PIB et consommation d'énergie.

Par maîtrise pragmatique de l'incertitude, nous entendons la mise en œuvre de simulations multiples, testant une politique de transport donnée sous plusieurs contextes exogènes contrastés. C'est l'unique moyen d'évaluer l'ampleur des risques qui doivent être assumés lorsqu'une politique de transport est mise en œuvre.

En conclusion, les évolutions futures du modèle seront guidées par l'évaluation des résultats des tests d'erreur et de sensibilité. Il s'agit essentiellement de :

- corriger l'étape de partage modal qui débute par une estimation des déplacements en modes légers, fonction de la surface de la zone et de sa motorisation moyenne : le calage de la part des modes légers devrait mieux prendre en compte les déplacements à pied réalisés dans Lyon-Villeurbanne par les non-résidents (dont les caractéristiques n'influent pas sur le paramètre de motorisation moyenne de la zone) ; un calage du partage modal devrait également être testé directement sur les trois modes (marche à pied, voiture particulière et transports collectifs) et non par étape ;
- corriger la mécanique du modèle qui réalise le partage modal après la distribution spatiale des déplacements : cette mécanique produit des effets jugés irréalistes quand on révolutionne le système de transport routier, soit par une forte congestion, soit par des tarifications élevées ; cela passe probablement par une étape simultanée de distribution et partage modal, réalisée pour chaque motif principal ;
- reprendre plus généralement les modèles de distribution et de partage modal sous forme différentielle, où les valeurs à l'année n sont estimées en fonction des valeurs à l'année $n-1$ et des variations d'offre et de demande entre $n-1$ et n : cela afin d'être mieux en cohérence avec l'approche pas-à-pas et afin de surmonter la difficulté de prédire correctement les flux de zone à zone ou les parts modales à partir des seules caractéristiques d'offre et de demande explicitement spécifiées, sans tenir compte de l'histoire du système ;
- tester la robustesse de la courbe débit-vitesse, au besoin à l'aide d'autres modèles calés sur la situation lyonnaise ;
- mieux représenter l'offre en transports collectifs : il s'agit de mieux prendre en compte la logique d'axes et de hiérarchie des réseaux dans un cadre zonal qui, lui, est adapté à la capillarité du réseau routier : formalisation de l'accès au réseau de transports collectifs, globalisation des fréquences et des temps de parcours, ruptures de charge, etc.
- mieux prendre en compte l'impact de l'état de l'offre routière sur les temps de déplacement internes aux zones (actuellement supposé constants) ;
- isoler en tant que paramètres les taux d'occupation des véhicules (impacts de politiques de co-voiturage) et les coefficients de passage à la pointe (hypothèses d'étalement de la pointe).

1. Introduction

Pourquoi un modèle stratégique ?

Les préoccupations quant aux atteintes portées par le transport à l'environnement, aussi bien à court terme (pollution locale et régionale, cadre de vie quotidien) qu'à long terme (changement climatique global), vont croissant. Ces préoccupations induisent l'élaboration de politiques visant à réorienter la demande de transport vers des modes moins agressifs pour l'environnement, ou même à réduire les véhicules-kilomètres parcourus. Cependant ces politiques rencontrent des tendances à long terme, dans leurs dimensions spatiales ou sociales : ce sont par exemple plusieurs décennies d'étalement urbain, de dédensification et de croissance de la motorisation.

Ces tendances à long terme rendent les changements désirés de plus en plus coûteux et rendent même la situation dans certains cas irréversible. Ces coûts croissants sont par exemple ceux de la fourniture de transports publics dans des espaces de moins en moins denses. En outre il existe un risque de coûts sociaux et économiques de réparation de l'environnement de plus en plus élevés à l'avenir. Cela rentre en conflit avec les restrictions des dépenses publiques, par exemple pour la fourniture du service de transport de base (routes et transports publics) et cela implique de rechercher une efficacité économique et sociale des systèmes de transport.

Il apparaît clairement que toute mesure prise en matière de politique de transport est sujette à des risques financiers et environnementaux, et que ces mesures ont souvent des effets à long terme. Cela explique pourquoi il existe un intérêt renouvelé des agences de transport dans plusieurs pays pour des outils permettant la détection de ces risques et de leurs conséquences. De tels outils devraient contribuer à l'élaboration de stratégies réduisant l'occurrence de ces risques ou minimisant leurs conséquences potentielles. Cela implique le besoin d'outils permettant la simulation à long terme (10 ans et au-delà) des effets potentiels de politiques de transport dans un contexte en pleine évolution.

Ces outils devraient également être souples, permettre le test de politiques alternatives sous des hypothèses contrastées d'évolution du contexte socio-économique (par exemple la croissance économique, les revenus, etc.). Bien sûr les résultats ne devraient pas être des prévisions détaillées d'un avenir inévitable mais plutôt des ordres de grandeur de différents scénarios d'évolution liés aux hypothèses contrastées et aux différentes mesures de politique. Ces outils devraient jouer un rôle pédagogique, en aidant les agences de transport et les autorités locales à confronter les résultats de leurs actions potentielles.

En économie des transports comme dans toute discipline scientifique, chaque modèle ne peut être défini que par rapport au phénomène modélisé et aux paradigmes auxquels il se réfère : cet ensemble permet de définir le champ d'application du modèle¹. Chaque modèle possède donc des aptitudes spécifiques, qui sont à mettre en rapport avec l'éventail des besoins d'évaluation de politiques de transports urbains. Cet éventail des besoins peut être ordonné selon deux dimensions ou plutôt deux portées, l'une spatiale et l'autre temporelle.

¹ L'exemple de la physique des particules où les concepts d'onde et de corpuscule, un temps en conflit, sont progressivement apparus comme deux approximations valables à l'échelle macroscopique, et incompatibles entre elles, de la nature profonde et unique des constituants de la matière.

La portée spatiale va du niveau du quartier ou de la zone jusqu'au niveau de l'agglomération ou de la région urbaine. La portée temporelle va du court terme (1 à 3 ans) au long terme (10 ans et au-delà). Ces deux portées permettent d'ordonner les différents types d'études requises pour mener à bien une politique de transport : cela va, sans être exhaustif, des études de projet détaillé d'infrastructure de transport à court terme, aux études de simulation à long terme au niveau de l'agglomération.

Il est clair qu'il n'existe pas de modèle à tout faire et que chaque type d'étude appelle un ou des outils particuliers. Il peut être reconnu que l'analyste est mieux doté en matière de modèles de court ou moyen terme, qu'il s'agisse de modèles d'affectation sur des réseaux ou de modèles de choix discret, qu'en matière de modèles de long terme.

Le long terme porte en lui une incertitude inhérente, aux dimensions multiples. Cela justifie que les évaluations quantitatives issues d'un modèle de long terme ne s'intéressent qu'à un niveau spatial relativement agrégé, soit quelques zones au niveau de l'agglomération. En bref, le modèle stratégique doit reposer sur des régularités détectées à l'échelle spatiale de l'agglomération, et à l'échelle temporelle de dizaines d'années.

Le champ d'application de ce que nous appelons un modèle stratégique, est de pouvoir simuler à l'échelle d'une agglomération les conséquences de politiques variées de transports, dans des contextes contrastés et non maîtrisés de développement urbain, économique et socio-démographique.

En regard de ces objectifs les outils opérationnels existants sous forme de logiciels n'offrent que peu de réponses. Les boîtes à outils sont très bien achalandées mais se prêtent mal à des simulations de stratégies. En effet elles souffrent à cet égard d'une certaine lourdeur d'utilisation. Celle-ci découle de l'objectif qui leur est assigné, à savoir le calcul des charges sur les réseaux de voirie et de transports en commun, ce qui nécessite d'utiliser un découpage nécessairement fin (plus de 100 zones pour une agglomération millionnaire). Cela implique un temps de recherche d'information et d'interprétation des résultats non négligeables. Ce niveau de détail alourdit considérablement le traitement des rétroactions. Pourtant le degré de congestion de la voirie a évidemment des impacts importants sur les trois premières étapes, i.e. le choix modal, les décisions de localisations résidentielles ou professionnelles des ménages, ou la remise en cause du niveau de mobilité ou des choix de motorisation. La prise en compte de ces rétroactions est théoriquement possible mais souvent ignorée (Stopher et alii, 1996).

La notion de modèle stratégique n'est pas nouvelle, puisque par exemple le modèle QuinQuin développé dans le milieu des années 80 (Bonnafous, 1985 ; Bouf, 1989 ; Tabourin, 1989 ; Bonnafous et Tabourin, 1995), prend en compte cette dimension stratégique de long terme pour évaluer les conséquences de politiques de transport, sur les plans du financement des transports publics et de l'encombrement du réseau routier (Raux et Tabourin, 1992). Ce modèle reste malgré tout très global sur l'agglomération et le modèle que nous proposons ici se veut plus sensible aux dimensions spatiales du système urbain. Des modèles stratégiques ont été développés également au Royaume-Uni, dans le cadre d'une série d'études intégrées de transport, notamment sur Londres (Oldfield, 1993), Birmingham (Jones et alii, 1990) et Edimbourg (Bates et alii, 1991). Ces modèles ont pour principe de fonctionner avec un nombre réduit de zones (de l'ordre de la dizaine), une représentation de l'offre de transport par des relations flux-vitesse entre zones, et la prise en compte de la rétroaction de l'état de l'offre sur la demande. On se référera aussi utilement aux modèles simplifiés de demande (Ortuzar, 1992).

De l'incertitude en matière de prévision

L'élaboration de tels outils de simulation pose cependant un véritable défi. Nous devons tenir compte de nombreuses incertitudes mais aussi du cheminement d'évolution du système au cours de la simulation.

La plupart des travaux sur les erreurs des modèles de demande de transport et sur l'incertitude attachée aux prévisions faites à l'aide de ces modèles, datent du début des années 80. MacKinder et Evans (1981) ont montré que l'essentiel des erreurs de prédiction faites à partir de modèles agrégés classiques, provenait d'erreurs de prédiction du contexte exogène, c'est-à-dire la croissance urbaine et économique. Un atelier de la 4^{ème} conférence de l'IATBR fut consacré également à ce problème (cf. notamment les contributions de Horowitz (1981), Talvitie (1981) et Ashley (1981)). Les conclusions de cet atelier (Koppelman, 1981) étaient que la structure d'interaction des erreurs entre les différents sous-modèles, ainsi que la propagation des erreurs, étaient mal connues. L'erreur globale d'estimation peut être vue comme le fruit

- des erreurs de mesure des comportements lors des enquêtes : il s'agit des erreurs d'échantillonnage (base de sondage, sélection des répondants, non-réponses totales) et des erreurs de mesure découlant de questionnaires incomplets, mal compris ou incorrectement administrés² ;
- des erreurs issues de théories du comportement (maximisation de l'utilité des déplacements) et de spécifications (choix des variables et de la forme fonctionnelle de la fonction objectif) incorrectes ;
- de procédures d'estimation biaisées.

A cette erreur globale d'estimation s'ajoutent les erreurs de prévision du contexte à l'horizon de la prévision, pour former l'erreur de prédiction globale.

Contenu du rapport

Ce rapport présente une analyse des erreurs, de la sensibilité et du jeu des différentes sources d'incertitudes dans la formation des estimations de prévision, dans le cadre du modèle stratégique de l'agglomération lyonnaise (MoStraLyon version 1, février 1997). Le but de ce rapport est d'évaluer les capacités et les faiblesses du modèle dans sa version actuelle, pour pointer les principales directions de son amélioration vers des versions futures.

Dans la première section nous rappellerons les principales caractéristiques du modèle stratégique développé à Lyon, dont la présentation détaillée a été faite par ailleurs (SEMALY, LET, 1997a, 1997b). La deuxième section sera consacrée aux erreurs de mesure lors des enquêtes et au positionnement des erreurs du modèle en référence à ces erreurs de mesure. La troisième section montrera la sensibilité du modèle à quelques grandes évolutions tendanciennes du contexte. La quatrième section consistera en une exploration des facteurs d'incertitude et de leurs importances relatives dans la formation des prévisions. Ces résultats seront synthétisés et discutés dans la conclusion.

² Voir à ce sujet un récent ouvrage consacré à cette question : Bonnel et alii (1997).

2. Le modèle stratégique de l'agglomération lyonnaise

Le modèle stratégique développé dans le cadre de l'agglomération lyonnaise tente d'apporter des réponses au cahier des charges édicté plus haut. La recherche de régularités de comportements à l'échelle de la dizaine d'années s'est faite sur la base de l'analyse des trois enquêtes ménages réalisées à Lyon en 1976-77, 1985-86 et 1994-95. Cette profondeur rétrospective de 20 ans rend plus solides les invariants (spécifications des modèles et valeurs des paramètres) élaborés à partir de l'analyse de ces données.

L'échelle spatiale est le résultat d'un compromis établi en tenant compte du degré d'erreur acceptable, qui est fonction des erreurs d'échantillonnage des enquêtes. L'agglomération lyonnaise comprend environ 1.200.000 habitants sur une aire d'environ 1000 km². Un découpage en 25 zones a été établi, soit dix fois moins que pour un modèle de court terme classique. Il s'agit d'un découpage de projection des résultats, qui est différent d'un découpage d'estimation des sous-modèles, restreint aux zones pour lesquelles l'erreur d'échantillonnage est la plus faible. Ce découpage est également différent d'un découpage de présentation des résultats, en un nombre plus restreint de zones. Ce découpage restreint permet un travail allégé de codage des réseaux et des préparations plus rapides de simulations. En outre il est compatible avec le découpage communal au niveau duquel sont disponibles les données socio-économiques et démographiques.

Le découpage en 25 zones du modèle stratégique

(Source : carte élaborée d'après *l'Atlas du Grand Lyon*, INSEE, Cartographie et Décision, 1994)

Les enquêtes ménages, en tant qu'enquêtes de déplacements classiques, reposent sur le paradigme du déplacement. Il ne s'agit pas d'ignorer, loin de là, le changement de paradigme proposé depuis près de 20 ans, dans le cadre des recherches sur les activités (activity-based approaches). Nous pensons que les approches activités sont des instruments très pertinents quand ils sont utilisés dans des démarches exploratoires de simulation, dans des situations hypothétiques : HATS (Jones, 1979), CUPIG (Lee-Gosselin, 1990) et autres enquêtes d'adaptations déclarées (Raux et alii, 1994 ; Faivre d'Arcier et alii, 1998). Ces approches sont par contre loin d'avoir fait l'objet d'applications directes en matière de modélisation des choix de déplacements : nous pensons d'ailleurs que là n'est pas leur rôle, mais qu'elles contribuent à l'élaboration ou au test de nouvelles hypothèses comportementales, ainsi qu'à guider la modification des modèles existants.

C'est ainsi que nous avons introduit des modifications, en premier abord marginales, dans la structure classique de modélisation. En effet le modèle stratégique repose sur une architecture classique à quatre étapes où les étapes de génération, distribution et choix modal, sont réalisées à la journée, tandis qu'un passage à l'heure de pointe est introduit avant l'affectation des déplacements sur les réseaux.

La première modification est de modéliser les déplacements non comme tels directement, mais sous forme de chaînes de déplacements. En effet, le souci de recherche d'invariants de comportements nous a conduit à reconstituer, à partir des données d'enquêtes, des chaînes de déplacements qui ont été rattachées à un motif principal : par exemple la suite de déplacements domicile / achat / travail est considérée comme une chaîne domicile-travail. L'analyse des enquêtes a mis en évidence une grande régularité dans la génération de ces chaînes de déplacements par individu. Notamment, pour le travail, nous constatons le passage progressif à la « journée continue » entre 1976 et 1995 : désormais, en moyenne, une chaîne aller domicile-travail est effectuée par chaque individu actif quotidiennement. Cette stabilité de la génération des chaînes de déplacements par motif principal et par zone, sert de base au modèle de génération, tandis que la variabilité des déplacements secondaires est prise en compte par la relation entre mobilité globale et croissance des revenus.

La seconde modification est le fonctionnement en pas-à-pas, qui permet de simuler et de tester le comportement du système modélisé au court du temps, ainsi que de traiter les rétroactions.

La troisième modification est celle d'une architecture modulée selon les motifs de déplacements. Cette modulation consiste à traiter les rétroactions entre étapes de manière différente selon les motifs de déplacements. Les différences d'inerties et de rigidités de comportement spatial et temporel, selon les types d'activités, sont ainsi explicitement traitées dans le modèle.

2.1. Le fonctionnement en pas-à-pas et la prise en compte des rétroactions

Au lieu de projeter directement la situation calée en année de base sur l'année horizon (2005), le modèle calcule successivement, à partir d'une situation équilibrée entre offre et demande en année de base (1995), les situations année après année. A chaque pas annuel, les flux de déplacements (génération, distribution et choix modal) sont déterminés par le contexte socio-économique et démographique de l'année en cours, et par les conditions de transport - temps et coûts - des années précédentes. Les charges des réseaux en découlant, déterminent les conditions de transport de l'année en cours, et servent à calculer la situation des années suivantes.

Trois raisons expliquent ce choix :

- la première est relative à la cohérence interne du modèle : la cohérence entre offre et demande est assurée dans un processus d'équilibrage dynamique. Ce n'est donc pas un équilibre statique du système de transport qui est recherché, mais plutôt un cheminement cohérent année après année ;
- la seconde a trait à la prise en compte des inerties dans les changements de comportements (Goodwin, 1988) : ainsi une dégradation des conditions de déplacement en voiture sur une liaison donnée, ne produira pas immédiatement et pour toutes les activités, un changement de mode ou de destination. L'inertie de la réponse dépend des activités et des contraintes de localisation ou d'horaires. C'est ainsi que l'architecture du modèle permet de différencier le pas temporel des rétroactions sur la distribution et sur le choix modal, selon les motifs de déplacement ;
- la troisième raison repose sur l'intérêt qu'il y a à considérer les interactions entre le rythme temporel propre au contexte socio-économique, et la mise en place effective de politiques de transport sur plusieurs années.

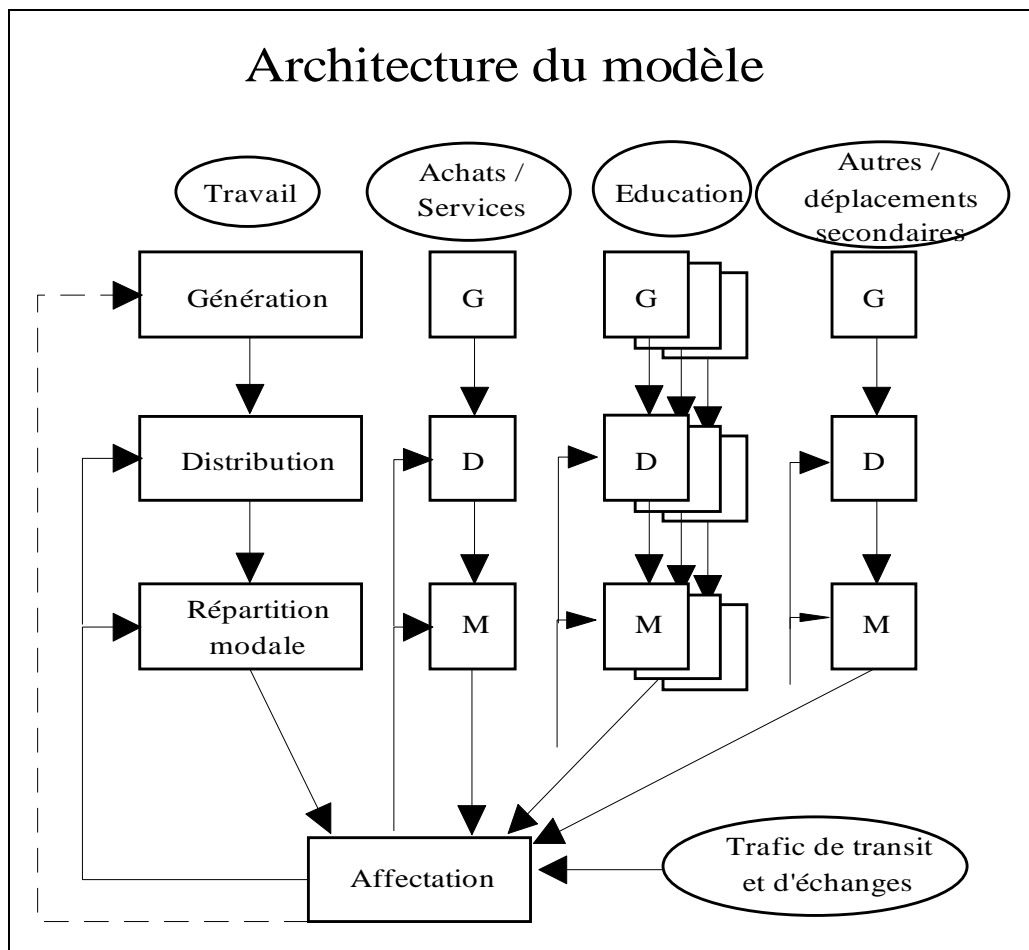
2.2. Une décomposition en motifs

Cette décomposition en motifs découle de la prise en compte d'une part de déterminants, d'autre part d'inerties et de rigidités de comportement différents selon les types d'activités :

- les chaînes domicile-travail : elles sont fonction des localisations de la population active et des emplois, caractérisées par une forte rigidité en matière de localisations ;
- les chaînes domicile-enseignement, en distinguant les niveaux primaire, secondaire et supérieur : elles sont fonction des localisations des populations et des établissements scolaires, ainsi que de conditions de transport différenciées ; elles sont soumises à un degré de rigidité similaire à celui du travail ;
- les chaînes domicile-achats ou affaires personnelles : elles sont fonction des localisations de la population et des emplois de commerce, avec un degré de rigidité bien moindre que pour le travail ; le choix individuel d'un lieu d'achat est relativement plus libre et est sur-déterminé parfois par le choix modal (on choisit d'abord la voiture puis le lieu d'achat).

L'architecture du modèle (cf. Figure 1) permet de caler des sous-modèles différents selon les motifs, et de mettre en œuvre des rétroactions également différentes selon les motifs.

Figure 1 : L'architecture du modèle stratégique



2.3. Les sous-modèles

L'architecture du modèle et la flexibilité de son implémentation sous un tableur permettent les modifications ultérieures des différents sous-modèles. La brève description de ces sous-modèles dans leur version actuelle (SEMALY, LET, 1997a, 1997b) permet de distinguer les principaux paramètres qui sont sources d'erreurs et d'incertitudes potentielles.

2.3.1. La génération

L'étape de génération consiste à calculer tout d'abord le total des déplacements, à partir d'une relation entre mobilité individuelle quotidienne moyenne et revenu moyen. Cette relation a été établie et validée depuis une dizaine d'années sur l'agglomération lyonnaise (Bonnafous et Tabourin, 1995).

A côté de cette masse de déplacements, tous motifs et tous modes confondus, sont calculées les émissions et attractions, par zone, de chaînes de déplacements pour les motifs principaux : travail, enseignement selon trois niveaux, achats, autres motifs. Le calcul repose sur des coefficients de génération, dont l'analyse des trois enquêtes a montré la convergence au cours du temps, et la remarquable stabilité d'une zone à l'autre. Les facteurs émetteurs ou attracteurs varient selon les motifs : population totale et active, populations scolaires, emplois par type, places d'enseignement, etc.

Coefficients d'émission et d'attraction des déplacements par motif

paramètres de génération

émission	R-T	R-Ep	R-Ecl	R-Es	R-A	M4
pop. totale					0,36	0,55
pop. primaire		1,20				
pop. coll./lyc.			1,20			
étudiants				0,85		
pop. active	1,00					
emplois						
empl. commerce						
empl. tertiaire						2,25
places coll./lyc.						
places étudiants						

attraction	R-T	R-Ep	R-Ecl	R-Es	R-A	M4
pop. totale						0,55
pop. primaire		1,20				
pop. coll./lyc.						
étudiants						
pop. active						
emplois	0,80					
empl. commerce					10,00	
empl. tertiaire						2,25
places coll./lyc.			1,20			
places étudiants				0,70		

La différence entre les déplacements totaux et les déplacements pour travail, enseignement et achats, permet de corriger les émissions et les attractions des déplacements pour les autres motifs et les déplacements secondaires (non rattachés au domicile).

2.3.2. La représentation de l'offre de transport

Dans les étapes de distribution, de choix modal et d'affectation, les temps généralisés de déplacements utilisés reposent sur la description suivante de l'offre, au niveau zonal.

L'offre en transports collectifs est représentée à travers les liaisons directes existantes de zone à zone : elle tient compte du temps d'accès moyen au réseau dans la zone origine, estimé d'après la densité du réseau, du temps d'attente, du temps de parcours et du temps d'accès moyen à la destination finale. Les temps de parcours pour toutes les origines-destinations sont obtenus par un algorithme de recherche du meilleur itinéraire. Les différents composants du temps de déplacement sont pondérés pour tenir compte de leur perception par l'utilisateur, ce qui permet d'obtenir un temps généralisé : on introduit des coefficients de pénibilité d'accès au réseau et de pénibilité d'attente, ainsi que des constantes de préférences, exprimées en temps d'accès différenciés selon les modes : ces constantes sont décroissantes selon la performance du mode, bus en surface, tramway, métro. Les valeurs de ces paramètres reposent sur le calage d'un modèle d'affectation en transports collectifs, validé depuis vingt ans sur l'agglomération lyonnaise.

Paramètres de représentation de l'offre en transports collectifs

pénibilités TC

temps d'accès	2,00	x temps
temps d'attente	1,80	x temps

pénalités d'accès

site propre lourd	5,0	mn
site propre inter.	7,0	mn
site partagé	10,0	mn

paramètres bus

accélération	0,7	m/s ²
décélération	1,0	m/s ²
interstation	400	m
temps d'arrêt	30	s

L'offre routière est également représentée sous forme d'une offre globale de zone à zone (réseau primaire). L'offre est décrite par la capacité horaire globale de zone à zone, la vitesse à vide et la distance de zone à zone. La reconstitution des temps de parcours et leur comparaison avec les temps déclarés par les enquêtés a permis d'établir un temps moyen d'accès au réseau primaire de 6 minutes, stable d'une zone à l'autre. C'est donc un temps moyen de 12 minutes qui est ajouté au temps de circulation sur le réseau primaire pour former le temps total de déplacement.

L'offre de stationnement est très mal connue et le stationnement payant très marginal, comme en témoignent les enquêtes, sauf dans les zones hypercentrales. En l'absence de données plus fines, la difficulté de stationnement est représentée par un critère de densité urbaine (population et emplois) qui permet d'améliorer les modèles de choix modal : ce critère synthétique qui représente à la fois le temps de recherche moyen d'une place et l'inconfort qui lui est lié, est transformé en un temps généralisé (cf. modèle de choix modal infra). Au total le temps généralisé d'un déplacement en voiture comprend le temps de parcours, le temps de recherche d'une place de stationnement, son coût éventuel et le coût lié à la distance parcourue. Les coûts sont transformés en temps au moyen d'une valeur du temps standard (70 FF/h 1995) qui évolue au cours du temps au même rythme que les revenus, dans le scénario de référence.

2.3.3. La distribution spatiale des déplacements

L'étape de distribution est réalisée pour chacun des motifs séparément. Elle repose sur un modèle gravitaire classique où les flux de zone à zone sont initialement calculés par

$$T_{ij}^{m0} = E_i^m A_j^m \exp\left(-\frac{t_{ij}^m}{\tau_m}\right) \text{ où}$$

T_{ij}^m est le nombre de déplacements de la zone i à la zone j pour le motif m

E_i^m est le nombre de déplacements émis par la zone i pour le motif m

A_j^m est le nombre de déplacements attirés par la zone j pour le motif m

t_{ij}^m est le temps généralisé multimodal (meilleur temps) pour aller de i à j

τ_m est le coefficient de conductance pour le motif m .

Les T_{ij}^m sont calculés à partir des T_{ij}^{m0} à l'issue d'un processus itératif de Fratar, de manière à s'ajuster aux marges en émission et en attraction. Cet ajustement est réalisé au moment de la projection, de manière à éviter l'utilisation de facteurs d'équilibrage préétablis : on a en effet tout lieu de penser que ces facteurs ne sont pas stables au cours du temps (Duffus et alii, 1987).

Pour les motifs travail, enseignement supérieur, achats et autres motifs, les conductances augmentent régulièrement au cours des trois enquêtes. Pour tenir compte de ces évolutions, ces conductances ont été reliées à l'évolution de la motorisation globale au cours des trois enquêtes, selon une relation linéaire : celle-ci traduit le fait qu'à conditions de transport et de localisation des activités inchangées, les déplacements se font à des distances plus lointaines.

La distribution des déplacements est laissée libre, en ce sens qu'une modification des conditions de transport entre zones provoquera des modifications de flux entre zones, sous la contrainte des émissions et attractions totales par zone. Toutefois, pour tenir compte de l'inertie dans les changements de comportements, c'est la moyenne des temps de déplacement des deux années précédentes qui est prise en compte dans le calcul des T_{ij}^m . Pour les motifs de déplacements plus rigides dans leur localisations, comme le travail et l'enseignement, c'est la moyenne des temps de déplacement des cinq années précédentes qui est prise en compte.

2.3.4. La répartition modale

La répartition modale est décomposée en deux sous-étapes hiérarchiques : la première étape consiste à déterminer la part des modes légers (marche à pied essentiellement et vélo), avant de procéder au partage entre voiture et transports collectifs. Ces déplacements en modes légers se déroulent presque exclusivement à l'intérieur de chacune des 25 zones, étant donné leur portée : leur volume a fortement diminué au cours des vingt dernières années, essentiellement au profit de la voiture. La part de ces modes légers décroît avec la surface de la zone et avec la motorisation. Cette part est calée par la fonction

$$ML_i^m = \frac{a_m}{\sqrt{S_i}} (\exp(-b_m motor_i) + c_m) \text{ où}$$

ML_i^m est la part des déplacements effectués en modes légers pour le motif m dans la zone i ,
 a_m, b_m, c_m sont des paramètres estimés pour le motif m ,
 S_i est la surface de la zone i ,
 $motor_i$ est la motorisation de la zone i .

Une fois les déplacements en modes légers déduits du total des déplacements internes à chacune des zones, un partage est opéré entre les modes motorisés (voiture et transports collectifs) sur la matrice des T_{ij}^m . Pour les motifs d'enseignement primaire et secondaire, qui relèvent de déplacements à courte distance et de l'offre en transports scolaires, un partage constant entre transports collectifs et voiture (comme passager) est opéré. En effet ce partage reste stable pour chacun de ces deux motifs, selon les zones et au cours du temps.

Pour les autres motifs (travail, enseignement supérieur, achats et autres motifs) le modèle utilisé est un modèle logit.

$$TC_{ij}^m = \left(1 + \exp \left(k_m + \frac{ttc_{ij}}{\tau tc_m / motor_i} - \frac{tvp_{ij}}{\tau vp_m motor_i} - \frac{d_j}{\delta_m} \right) \right)^{-1} \text{ où}$$

TC_{ij}^m est la part modale des transports collectifs entre les zones i et j pour le motif m ,
 $k_m, \tau tc_m, \tau vp_m, \delta_m$ sont des paramètres du modèle pour le motif m ,
 ttc_{ij} est le temps généralisé de déplacement en transports collectifs de i à j ,
 tvp_{ij} est le temps généralisé de déplacement en voiture de i à j ,
 d_j est un paramètre de densité représentant la difficulté de stationner,
 $motor_i$ est la motorisation de la zone i .

Cette spécification a été choisie parmi plusieurs spécifications concurrentes, offrant des résultats statistiques satisfaisants³ : elle a l'avantage de bien reconstituer le passé et d'apporter une explication satisfaisante sur le plan comportemental.

³ Plusieurs spécifications ont été élaborées à partir d'un modèle logit. Le modèle a été calé en considérant l'ensemble des flux entre les 25 zones sur les trois enquêtes (approche 'cross-section'). Puis le calage des paramètres a été affiné en utilisant le solveur d'Excel pour ajuster au mieux l'évolution au cours des trois enquêtes. Les spécifications logit initialement calées sont exposées en annexe. Les valeurs finales retenues après affinement sont exposées dans le tableau des paramètres de choix modal dans le corps du texte.

Dans cette formulation⁴, la motorisation intervient pour rendre plus ou moins critique la concurrence entre transports collectifs et voiture. Le temps de déplacement en transports collectifs joue un rôle d'autant plus important que la motorisation de la zone de départ est élevée. A l'inverse le temps de déplacement en voiture joue un rôle d'autant moins important que cette motorisation est élevée.

Ce sont des données moyennes zonales qui sont utilisées et nous savons que cela peut être source d'erreurs importantes si l'on s'intéresse aux probabilités de choix désagrégées (Horowitz, 1981). Cependant nous nous intéressons ici à la probabilité de choix moyenne pour chaque couple de zones. En outre les variables moyennes de zone à zone ne sont pas mélangées avec des variables désagrégées, ce qui devrait limiter les erreurs. Enfin c'est aussi le seul moyen de prendre en compte l'impact de la motorisation sur le choix de la voiture pour se déplacer.

Paramètres des modèles de choix modal pour chacun des motifs

paramètres de séparation des modes légers

	R-T	R-Ep	R-Ecl	R-Es	R-A	M4	
a	2,8	6,0	5,0	2,8	2,8	2,8	km
b	2,0	2,0	3,5	2,0	2,0	2,0	/véh
c	0,28	0,46	0,63	0,42	0,52	0,40	–

paramètres de choix modal TC/VP

	R-T	R-Ep	R-Ecl	R-Es	R-A	M4	
τ_{TC}	21,0	% TC uniforme		21,0	12,0	16,0	mn.véh
τ_{VP}	70,0			130,0	100,0	32,0	mn/véh
δ	300			300	150	400	pers/ha
k	1,65			-0,96	1,32	2,26	–

2.3.5. Le passage à l'heure de pointe

Le passage à l'heure de pointe consiste à transformer les flux quotidiens de personnes en voiture, en flux de véhicules à l'heure de pointe du matin, en fonction de taux implicites d'occupation des véhicules. Des coefficients spécifiques, calculés en 1995, sont appliqués pour les chaînes domicile-travail : ces coefficients sont distingués selon un zonage en quatre couronnes. Pour l'ensemble des autres motifs, deux coefficients différents sont appliqués, l'un pour les déplacements internes aux zones, l'autre pour les déplacements sortant de leur zone.

Coefficients de passage à la pointe pour le travail et les autres motifs

VPcond hpm / VPtot jour

R-T	c1	c2	c3	c4
c1	0,395	0,242	0,377	0,320
c2	0,436	0,322	0,372	0,283
c3	0,378	0,333	0,331	0,275
c4	0,347	0,316	0,374	0,280

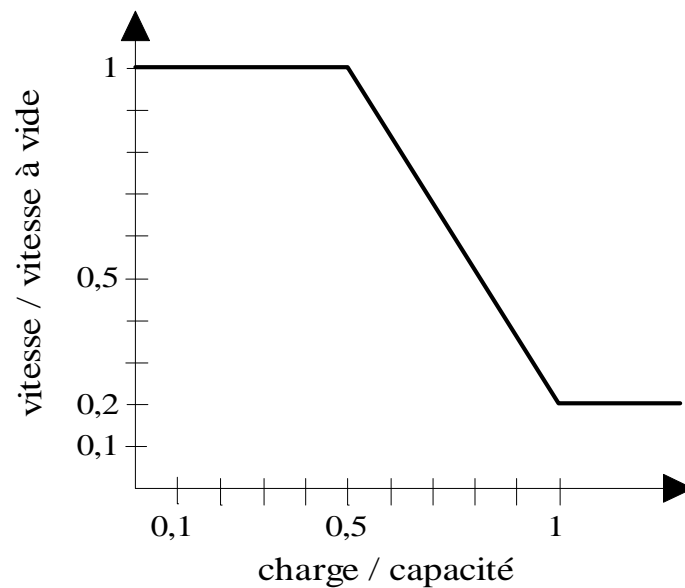
reste

intrazonnes	0,069
extrazonnes	0,037

⁴ expliquée dans SEMALY, LET 1997a, p.19.

2.3.6. L'affectation des déplacements en voiture particulière

L'affectation est enfin réalisée en agrégeant les déplacements pour tous les motifs, ainsi que les trafics de transit et d'échanges externes à l'agglomération : ces derniers sont estimés selon des hypothèses exogènes au modèle, à partir des enquêtes cordon réalisées en 1979 et 1990. Au total ces trafics ont crû de 5% par an en moyenne à l'heure de pointe entre 1979 et 1990. L'affectation se fait en cinq tranches, avec recherche d'itinéraire de plus court chemin à chaque itération. Les enquêtes-ménages ne permettent pas de recalibrer spécifiquement la courbe débit-vitesse. C'est pourquoi une relation débit-vitesse de forme classique a été adoptée, qui produit des résultats acceptables dans la reconstitution des temps de parcours observés dans les enquêtes.



3. Erreurs sur les données et erreurs du modèle

L'évaluation des erreurs produites par le modèle - lequel est calé sur les données des trois enquêtes ménages de 1977, 1986 et 1995 - doit se faire en référence aux erreurs inhérentes à ces données d'enquête. C'est pourquoi dans un premier temps nous présentons les erreurs liées aux données d'enquête, sur la base de l'enquête de 1995, pour ensuite comparer les erreurs dues au modèle à celles dues aux données.

3.1. Comment évaluer les erreurs liées aux données d'enquête ?

La spécificité du modèle à évaluer est de produire des estimations des flux de déplacements par mode et par origine-destination. C'est pourquoi on ne s'intéresse pas uniquement aux parts modales globales mais aussi aux flux de déplacements entre zones, tous modes confondus et par mode.

Quel découpage spatial choisir pour analyser ces erreurs ? Le découpage en 25 zones, découpage de calage et d'exploitation du modèle, se révèle d'emblée trop fin pour calculer ces erreurs, suite à la connaissance déjà acquise à partir de l'analyse rétrospective des trois enquêtes-ménages (1977, 1986 et 1995). Nous présentons - et cela sera confirmé par les résultats obtenus - qu'un découpage en trois grandes zones concentriques (Lyon-Villeurbanne, 1^{ère} couronne et 2^{ème} couronne), le plus pertinent du point de vue des flux observés, est suffisant pour obtenir les estimations de ces erreurs en ordre de grandeur.

Correspondance entre découpage concentrique et découpage en 25 zones

Lyon-Villeurbanne	zones 1 à 8
1 ^{ère} couronne	zones 9 à 14
2 ^{ème} couronne	zones 15 à 25

C'est donc sur des matrices 3x3 soit 9 flux que nous travaillerons.

L'intervalle de confiance à 95% pour une proportion p , quand n - taille de l'échantillon - est grand s'écrit

$$\Delta = p \pm 1,96 \sqrt{\frac{p(1-p)}{n}}$$

Comme nous recherchons l'ordre de grandeur des erreurs et que nous nous sommes basés sur les résultats d'enquête redressés, nous avons supposé un taux de sondage uniforme de 1%, de manière à retrouver une approximation des effectifs enquêtés n pour chaque flux.

En outre comme les données sont tirées en grappe (tous les individus du ménage puis tous les déplacements des individus), la précision des estimations dépend du degré d'hétérogénéité ou d'homogénéité des grappes. Un coefficient de grappe, qui mesure le ratio selon lequel il faut

augmenter l'écart-type calculé à partir d'un tirage aléatoire simple, doit être appliqué⁵. Ce coefficient de grappe sur les déplacements est de l'ordre de 2, valeur qui a été appliquée dans l'estimation des erreurs sur les flux de déplacements.

Le tableau ci-après donne donc les erreurs sur les parts modales calculées à partir des données de l'enquête de 1995.

Erreurs d'enquêtes sur les parts modales, globales et par flux

Parts modales						TC enquête					
						LV	1C	2C	total		
						LV	17%	23%	18%	18%	
						1C	23%	6%	11%	11%	
						2C	19%	10%	4%	7%	
						total	18%	11%	7%	13%	
VP enquête						MAP enquête					
	LV	1C	2C	total		LV	1C	2C	total		
LV		34%	70%	77%	41%	LV	48%	5%	1%	40%	
1C		70%	50%	86%	60%	1C	5%	42%	2%	28%	
2C		76%	87%	64%	69%	2C	1%	2%	30%	22%	
total		41%	60%	69%	52%	total	40%	27%	22%	33%	
Erreurs brutes sur les parts modales						TC enquête					
						LV	1C	2C	total		
						LV	1%	3%	4%	1%	
						1C	3%	1%	3%	1%	
						2C	4%	3%	1%	1%	
						total	1%	1%	1%	1%	
VP enquête						MAP enquête					
	LV	1C	2C	total		LV	1C	2C	total		
LV		1%	3%	4%	1%	LV	1%	2%	1%	1%	
1C		4%	2%	4%	2%	1C	2%	2%	1%	2%	
2C		4%	4%	2%	2%	2C	1%	1%	2%	2%	
total		1%	2%	2%	1%	total	1%	2%	2%	1%	

Par exemple la part modale de la voiture particulière dans le flux de déplacements interne à Lyon-Villeurbanne se situe entre 33% et 35%. Les parts modales sont donc connues au niveau de l'ensemble de l'agglomération avec une précision brute de ± 1 point et pour les flux entre grandes zones avec une précision brute de ± 1 à 4 points.

Quel est ensuite le degré d'erreur dans les flux de déplacements entre grandes zones ? Pour ce faire nous avons calculé l'erreur sur la proportion de déplacements entre une zone i et une zone j par rapport au total des déplacements effectués.

⁵ CETUR, Eléments pour évaluer la précision obtenue dans l'estimation des indicateurs donnés par les enquêtes-ménages, note de travail, Bagnaux, 1977, 39p.

Erreurs d'enquêtes sur les flux de zone à zone, par mode

Flux redressés									
Tous modes enquête					TC enquête				
	LV	1C	2C	total		LV	1C	2C	total
LV	1 812 894	262 012	141 734	2 216 641	LV	306 295	60 089	26 188	392 572
1C	258 353	647 397	133 573	1 039 322	1C	59 894	40 640	14 629	115 164
2C	141 108	133 033	717 100	991 240	2C	27 376	13 004	25 114	65 494
total	2 212 355	1 042 442	992 407	4 247 203	total	393 566	113 733	65 931	573 230
VP enquête					MAP enquête				
	LV	1C	2C	total		LV	1C	2C	total
LV	611 633	184 468	108 817	904 917	LV	865 936	12 108	1 510	879 554
1C	180 987	326 572	114 859	622 418	1C	12 376	271 829	2 106	286 311
2C	107 923	115 519	459 564	683 007	2C	1 272	2 505	214 357	218 134
total	900 543	626 558	683 241	2 210 342	total	879 585	286 441	217 974	1 384 000
Erreurs relatives sur les flux									
Tous modes enquête					TC enquête				
	LV	1C	2C	total		LV	1C	2C	total
LV	2%	7%	10%	2%	LV	5%	15%	24%	4%
1C	7%	4%	11%	3%	1C	15%	19%	32%	10%
2C	10%	11%	4%	3%	2C	23%	34%	24%	14%
total	2%	3%	3%	0%	total	3%	10%	14%	0%
VP enquête					MAP enquête				
	LV	1C	2C	total		LV	1C	2C	total
LV	4%	9%	12%	3%	LV	3%	35%	101%	3%
1C	9%	6%	11%	4%	1C	35%	7%	85%	7%
2C	12%	11%	5%	4%	2C	110%	78%	8%	8%
total	3%	4%	4%	0%	total	3%	7%	8%	0%

Calculées sur valeurs de flux OD (coef grappe*1,96*racine((1-p)/nij))

On voit donc par exemple que les flux de déplacements en voiture particulière à l'intérieur de Lyon-Villeurbanne sont connus avec une précision de $\pm 4\%$. L'erreur est au maximum de $\pm 12\%$ (entre la 2^{ème} couronne et Lyon-Villeurbanne). L'erreur est en général plus grande pour les transports collectifs, particulièrement en dehors de Lyon-Villeurbanne, zone où les flux sont les plus importants. Enfin l'erreur sur les flux en marche à pied est logiquement très élevée pour les flux inter-zones, flux de niveaux très faibles puisque concernés par des distances importantes.

Ces intervalles d'erreur sur les données d'enquête vont donc nous servir d'étalon pour évaluer les erreurs du modèle.

3.2. L'évaluation des erreurs dues au modèle

Le tableau ci-après donne les flux tous modes mesurés par enquête, ceux calés par le modèle en son année de base (1995), et la différence relative pour chaque flux entre modèle et enquête⁶.

⁶ Rappelons que le modèle, à 4 étapes, a été calé de manière à reproduire le plus fidèlement possible les situations observées lors des trois enquêtes de 1977, 1986 et 1995, et non seulement cette dernière enquête.

Flux tous modes, observés, calés et leur différence relative

Tous modes enquête					Tous modes modèle-enquête				
	LV	1C	2C			LV	1C	2C	différence relative
									total
LV	1 812 894	262 012	141 734	2 216 641	LV	-3%	0%	-10%	-3%
1C	258 353	647 397	133 573	1 039 322	1C	4%	-7%	23%	0%
2C	141 108	133 033	717 100	991 240	2C	-7%	27%	7%	7%
	2 212 355	1 042 442	992 407	4 247 203	total	-3%	-1%	6%	0%
Tous modes modèle					Rappel erreurs enquête				
	LV	1C	2C	total		LV	1C	2C	total
LV	1 752 818	263 217	127 000	2 143 035	LV	2%	7%	10%	2%
1C	269 859	600 999	163 829	1 034 688	1C	7%	4%	11%	3%
2C	131 364	168 703	765 269	1 065 336	2C	10%	11%	4%	3%
total	2 154 041	1 032 919	1 056 098	4 243 058	total	2%	3%	3%	0%

Il n'y a pas de divergence notable entre modèle et enquête sur le nombre total de déplacements. Par contre les erreurs les plus importantes sont une surestimation des flux de la 2^{ème} couronne vers la 1^{ère} couronne (+27%) et inversement (+23%). Toutefois en valeur brute ces erreurs portent sur environ 30.000 déplacements, soit moins de 1% du total des déplacements de l'agglomération. Enfin le modèle propose des estimations en dehors des intervalles de précision des données d'enquête pour les flux internes à Lyon-Villeurbanne et à chacune des deux couronnes.

L'origine de ces erreurs peut être précisée en analysant les flux de zone à zone par mode.

En ce qui concerne la voiture particulière, le modèle produit une surestimation globale de 8% des flux de déplacements en voiture particulière. Si l'on fait l'hypothèse que cette surestimation affecte également tous les flux de zone à zone et en corrigeant le tableau de cette surestimation, on observe que les flux internes aux deux couronnes, les flux d'échanges entre les deux couronnes, ainsi que le flux de Lyon-Villeurbanne vers la 2^{ème} couronne, sortent des intervalles de précision des données d'enquête.

Flux en voiture particulière, observés, calés et leur différence relative

VP enquête					VP modèle-enquête				
	LV	1C	2C	total		LV	1C	2C	différence relative
									total
LV	611 633	184 468	108 817	904 917	LV	6%	7%	-7%	5%
1C	180 987	326 572	114 859	622 418	1C	12%	-8%	28%	5%
2C	107 923	115 519	459 564	683 007	2C	-2%	31%	18%	17%
total	900 543	626 558	683 241	2 210 342	total	6%	4%	15%	8%
Rappel erreurs enquête					VP modèle-enquête				
	LV	1C	2C	total		LV	1C	2C	Tableau corrigé de -8%
									total
LV	4%	9%	12%	3%	LV	-2%	-1%	-15%	-4%
1C	9%	6%	11%	4%	1C	4%	-16%	19%	-4%
2C	12%	11%	5%	4%	2C	-11%	23%	9%	8%
total	3%	4%	4%	0%	total	-2%	-5%	7%	0%

En ce qui concerne les transports en commun, on observe une surestimation de 6% de ces flux globaux par le modèle. Corrigé de cette estimation le tableau des erreurs par type de flux montre que les prédictions du modèle restent alors largement à l'intérieur des intervalles de précision des données d'enquête.

Flux en transports en commun, observés, calés et leur différence relative

TC + VPPASSTC enquête					TC modèle-enquête				
	LV	1C	2C	total		LV	1C	2C	différence relative total
LV	306 295	60 089	26 188	392 572	LV	6%	9%	-3%	6%
1C	59 894	40 640	14 629	115 164	1C	11%	-8%	16%	5%
2C	27 376	13 004	25 114	65 494	2C	-5%	31%	16%	10%
total	393 566	113 733	65 931	573 230	total	6%	5%	8%	6%

Rappel erreurs enquête					TC modèle-enquête				
	LV	1C	2C	total		LV	1C	2C	Tableau corrigé de -6% total
LV	5%	15%	24%	4%	LV	0%	3%	-9%	0%
1C	15%	19%	32%	10%	1C	5%	-14%	10%	-1%
2C	23%	34%	24%	14%	2C	-11%	25%	10%	4%
total	3%	10%	14%	0%	total	0%	-1%	2%	0%

Pour la marche à pied on observe une sous-estimation de 11% de ces flux globaux par le modèle. Le tableau des erreurs par type de flux, corrigé de cette sous-estimation, montre que, comme pour les transports en commun, les prédictions du modèle restent largement à l'intérieur des intervalles de précision des données d'enquête.

Flux en marche à pied, observés, calés et leur différence relative

MAP enquête					MAP modèle-enquête				
	LV	1C	2C	total		LV	1C	2C	différence relative total
LV	865 936	12 108	1 510	879 554	LV	-10%			-11%
1C	12 376	271 829	2 106	286 311	1C		-4%		-9%
2C	1 272	2 505	214 357	218 134	2C			-9%	-10%
total	879 585	286 441	217 974	1 384 000	total	-11%	-9%	-10%	-11%

Rappel erreurs enquête					MAP modèle-enquête				
	LV	1C	2C	total		LV	1C	2C	Tableau corrigé de +11% total
LV	3%	35%	101%	3%	LV	1%			-1%
1C	35%	7%	85%	7%	1C		7%		2%
2C	110%	78%	8%	8%	2C			2%	0%
total	3%	7%	8%	0%	total	-1%	2%	0%	0%

En résumé, ces analyses d'erreurs désignent les principaux points devant faire l'objet d'améliorations dans les évolutions futures du modèle :

- corriger la sous-estimation de la marche à pied, notamment dans Lyon-Villeurbanne : cela passe probablement par une correction de l'étape de choix modal qui débute par une estimation des déplacements en modes légers, fonction de la surface de la zone et de sa motorisation moyenne. Par exemple, cette procédure ne prend que très imparfaitement en compte les déplacements à pied réalisés dans Lyon-Villeurbanne par les non-résidents (dont les caractéristiques n'influent pas sur le paramètre de motorisation moyenne de la zone) ;
- corriger de même la surestimation des déplacements en transports en commun et en voiture particulière, découlant probablement de la précédente erreur sur la marche à pied ;
- corriger les erreurs sur les flux en voiture particulière entre couronnes et à l'intérieur de ces couronnes : les efforts devraient porter sur le modèle de distribution gravitaire.

Bien que, comme tout modèle en devenir, le modèle stratégique souffre encore d'imperfections, rien n'interdit d'analyser sa sensibilité à la modification de ses divers paramètres ou spécifications. Il s'agit là d'utiliser le modèle dans le cadre de sa fonction première, c'est-à-dire évaluer les évolutions tendanciennes quand on fait varier tel ou tel paramètre isolément. Dans ce cadre, ce n'est pas tant les valeurs absolues qui comptent que les écarts à la ligne de base (scénario « zéro » ou scénario « de référence »).

4. Sensibilité du modèle stratégique à quelques grandes évolutions tendanciennes du contexte

Il s'agit dans un premier temps d'évaluer la sensibilité du modèle à l'effet isolé de chacun des paramètres principaux du contexte socio-démographique et urbain. Ces paramètres sont supposés évoluer de manière raisonnable, le plus souvent comme extrapolation de la tendance passée ou comme « coups partis » en ce qui concerne l'offre routière programmée. Il s'agit :

- du trafic de transit et d'échanges tel qu'extrapolé à partir des enquêtes cordon ;
- de la population et des emplois ;
- des revenus, valeur du temps et motorisation ;
- de l'offre routière.

Pour tester la sensibilité du modèle stratégique aux divers paramètres qui interviennent dans son fonctionnement nous avons défini une situation de référence dite « zéro ». La situation « zéro » correspond à l'absence de variation, sur la période de simulation (habituellement de 1995 à 2005), de plusieurs paramètres, fixés à leur valeur de 1995 :

- la population et les emplois sont supposés constants dans les différentes zones,
- les revenus, la motorisation et la valeur du temps sont supposés constants (en F 95 pour les données monétaires),
- les trafics de transit et d'échange des différentes zones (données des enquêtes cordon) sont maintenu constants à leur valeur de 1995,
- l'offre routière est maintenue à son niveau de 1995, c'est-à-dire excluant les aménagements de l'A7 à Pierre-Bénite et surtout le boulevard périphérique nord à péage (Téo) en cours d'ouverture en 1997 : cette fixation des paramètres concerne aussi bien les capacités à vide, les vitesses à vide et les péages (nuls en l'absence de Téo).

Bien entendu, dans cette situation « zéro », les flux de déplacements par mode et entre zones restent strictement constants au court du temps.

Ces différents paramètres sont ensuite relâchés séparément pour évaluer la sensibilité du modèle à chacun d'eux.

A titre de comparaison et pour situer les grandes masses, nous donnons ci-après les valeurs données par le modèle en 1995, par grande catégorie de mode de déplacement et par grande zone, Lyon-Villeurbanne (LV), 1^{ère} couronne (1C) et 2^{ème} couronne (2C).

durées des déplacements VP 1995					distances parcourues VP 1995					vitesses des déplacements VP 1995				
mn	LV	1C	2C	total	km	LV	1C	2C	total	km/h	LV	1C	2C	total
LV	21	22	27	22	LV	3	6	12	5	LV	10	17	26	13
1C	27	18	22	21	1C	6	4	9	6	1C	14	12	24	16
2C	33	24	17	20	2C	12	9	4	6	2C	21	22	16	18
total	23	20	19	21	total	5	6	6	5	total	12	16	19	16

durées pénibilisées des déplacements TC 1995					distances parcourues TC 1995					vitesses pénibilisées des déplacements TC 1995				
mn	LV	1C	2C	total	km	LV	1C	2C	total	km/h	LV	1C	2C	total
LV	25	33	55	29	LV	4	7	11	5	LV	8	12	12	10
1C	33	31	47	35	1C	7	4	8	6	1C	12	8	10	10
2C	51	46	44	47	2C	11	8	4	8	2C	13	11	5	10
total	28	34	49	32	total	5	6	8	5	total	10	10	9	10

1995

flux tous modes

milliers dépl	LV	1C	2C	total
LV	1 753	263	127	2 143
1C	270	601	164	1 035
2C	131	169	765	1 065
total	2 154	1 033	1 056	4 243

flux modes légers

milliers dépl	LV	1C	2C	total
LV	781	0	0	781
1C	0	262	0	262
2C	0	0	196	196
total	781	262	196	1 238

flux VP ou TC

milliers dépl	LV	1C	2C	total
LV	972	263	127	1 362
1C	270	339	164	773
2C	131	169	569	869
total	1 373	771	860	3 005

flux VP

milliers dépl	LV	1C	2C	total
LV	649	198	102	948
1C	203	302	147	652
2C	105	152	540	797
total	957	651	789	2 397

flux TC

milliers dépl	LV	1C	2C	total
LV	323	65	25	414
1C	67	38	17	121
2C	26	17	29	72
total	416	120	71	607

1995

flux tous modes

milliers dépl	LV	1C	2C	total
LV	41%	6%	3%	51%
1C	6%	14%	4%	24%
2C	3%	4%	18%	25%
total	51%	24%	25%	100%

flux modes légers

milliers dépl	LV	1C	2C	total
LV	63%	0%	0%	63%
1C	0%	21%	0%	21%
2C	0%	0%	16%	16%
total	63%	21%	16%	100%

flux VP ou TC

milliers dépl	LV	1C	2C	total
LV	32%	9%	4%	45%
1C	9%	11%	5%	26%
2C	4%	6%	19%	29%
total	46%	26%	29%	100%

flux VP

milliers dépl	LV	1C	2C	total
LV	27%	8%	4%	40%
1C	8%	13%	6%	27%
2C	4%	6%	23%	33%
total	40%	27%	33%	100%

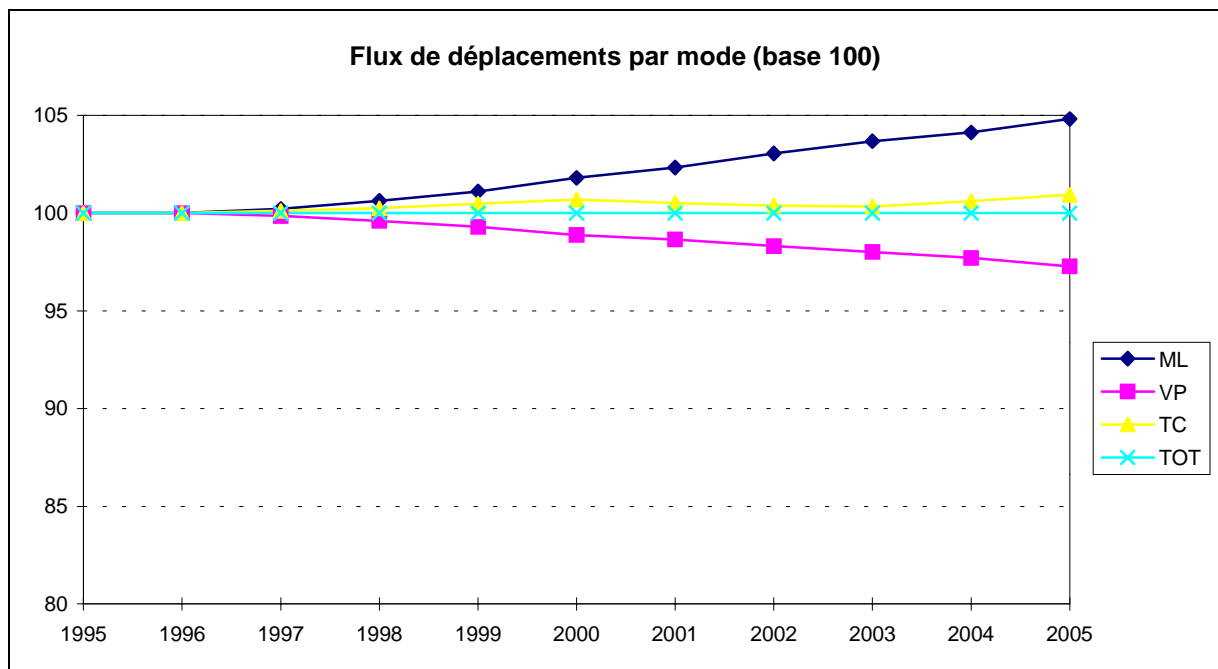
flux TC

milliers dépl	LV	1C	2C	total
LV	53%	11%	4%	68%
1C	11%	6%	3%	20%
2C	4%	3%	5%	12%
total	68%	20%	12%	100%

4.1. La sensibilité au trafic de transit et d'échange de l'agglomération

Dans ce test, par rapport à la situation « zéro », seuls sont supposés évoluer les trafics de transit et d'échange de l'agglomération lyonnaise : il s'agit des trafics de type cordon, c'est-à-dire tout ce qui sort ou entre dans le périmètre du modèle ou qui ne fait que traverser. Ces trafics sont supposés évoluer au même rythme que précédemment à 1995, soit de 4% à 7% par an pour les échanges entre l'aire du modèle (zones 1 à 25) et l'extérieur, de 1% à 11% par an pour le transit.

Au niveau de l'agglomération dans son ensemble, cette hausse des trafics d'échange et de transit a pour conséquence des difficultés croissantes de circulation, résultant en une légère baisse des flux de déplacements en voiture particulière (de 100 à 97 entre 1995 et 2005), une légère hausse des flux de déplacements en modes légers (de 100 à 105), tandis que les flux en transports collectifs restent quasi inchangés (de 100 à 101). Les flux totaux restent inchangés, puisque dépendant, dans la mécanique du modèle, uniquement de la génération des déplacements qui est bloquée à ses valeurs de 1995.



Ce transfert de mode des déplacements de la voiture particulière vers les modes légers est une caractéristique que nous retrouverons souvent : en effet le modèle de distribution, dans lequel les flux entre zones dépendent en effet inverse du coût généralisé de déplacement, réagit en faisant croître les flux intra-zones (diagonale de la matrice) au détriment des autres. Comme la part des modes légers se déduit du montant total de ces flux intra-zones, mécaniquement les flux en modes légers croissent.

Ce premier test permet donc de mettre le doigt sur un premier point, pouvant faire l'objet de débat : dans la chaîne à quatre étapes que nous avons adoptée (génération / distribution / répartition modale / affectation), la distribution intervient avant la répartition modale. Toute augmentation du coût généralisé de déplacement, par augmentation du temps de déplacement ou de son coût monétaire, a pour effet de contracter les flux, *avant* de provoquer un éventuel report modal de la voiture particulière vers les transports collectifs. Ce comportement du

modèle, d'une part est fondé sur l'observation et l'analyse des enquêtes passées, d'autre part est fonction de la valeur du temps adoptée. Rappelons que le coût généralisé des déplacements en voiture particulière est estimé sur la base du temps de parcours, du temps moyen de recherche de stationnement, du coût marginal pour l'automobiliste (carburant, stationnement et péages), transformé sur la base d'une valeur du temps couramment admise, celle-ci n'ayant pu être estimée spécifiquement pour Lyon. De même le coût généralisé des déplacements en transports collectifs est estimé sur la base des temps de parcours, d'attente et de correspondance et du tarif moyen pour l'utilisateur des transports collectifs, là encore transformé sur la base de la valeur du temps.

Cela donne en 1995 des différences de temps généralisé, au détriment des transports collectifs, de l'ordre de 5 à 15 minutes dans Lyon-Villeurbanne et en 1^{ère} couronne, de 20 minutes entre Lyon-Villeurbanne et la 2^{ème} couronne, d'environ une demi-heure pour les autres liaisons avec ou dans la 2^{ème} couronne. Or la dégradation des temps généralisés moyens de la voiture particulière, dans le cas du seul accroissement des trafics de transit, est toute relative, puisque l'augmentation n'est que de 1 à 3 minutes en général entre 1995 et 2005, et au maximum de 6 minutes entre la 2^{ème} couronne et Lyon-Villeurbanne. Le temps généralisé de la voiture particulière reste donc systématiquement inférieur à celui des transports collectifs : c'est donc ce temps généralisé de la voiture particulière qui détermine in fine la fonction de résistance dans le modèle de distribution.

La dégradation des conditions de circulation est imputable uniquement à l'accroissement tendanciel des trafics d'échange et de transit, puisque les flux de déplacements *internes* à l'agglomération, tous modes confondus, ne varient pas par construction. Cette dégradation se traduit par une baisse des vitesses moyennes à l'heure de pointe du matin dans les échanges entre les trois grandes zones de l'agglomération, particulièrement dans les échanges radiaux et quand on s'éloigne du centre : en effet la baisse des vitesses est de 9 à 10% à l'intérieur des 1^{ère} et 2^{ème} couronnes, celle des flux radiaux est de 10% entre 1^{ère} couronne et Lyon-Villeurbanne, de 17% entre 2^{ème} couronne et Lyon-Villeurbanne.

vitesses des déplacements VP

1995

km/h	LV	1C	2C	total
LV	10	17	26	13
1C	14	12	24	16
2C	21	22	16	18
total	12	16	19	16

2005 (année en cours)

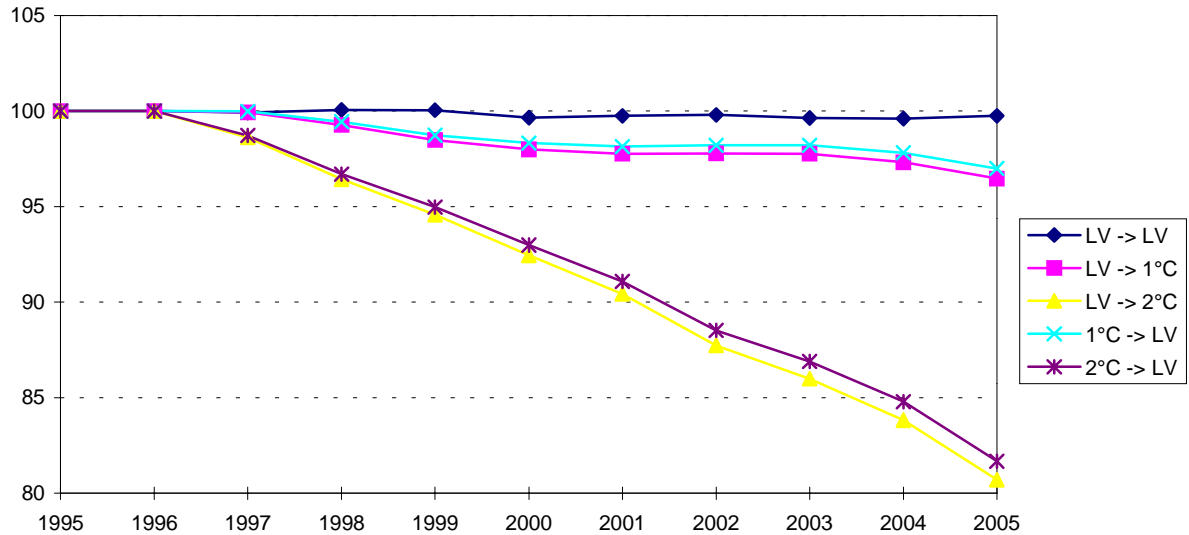
km/h	LV	1C	2C	total
LV	9	16	25	12
1C	12	11	23	14
2C	18	19	14	16
total	11	15	17	14

évolution 1995-2005

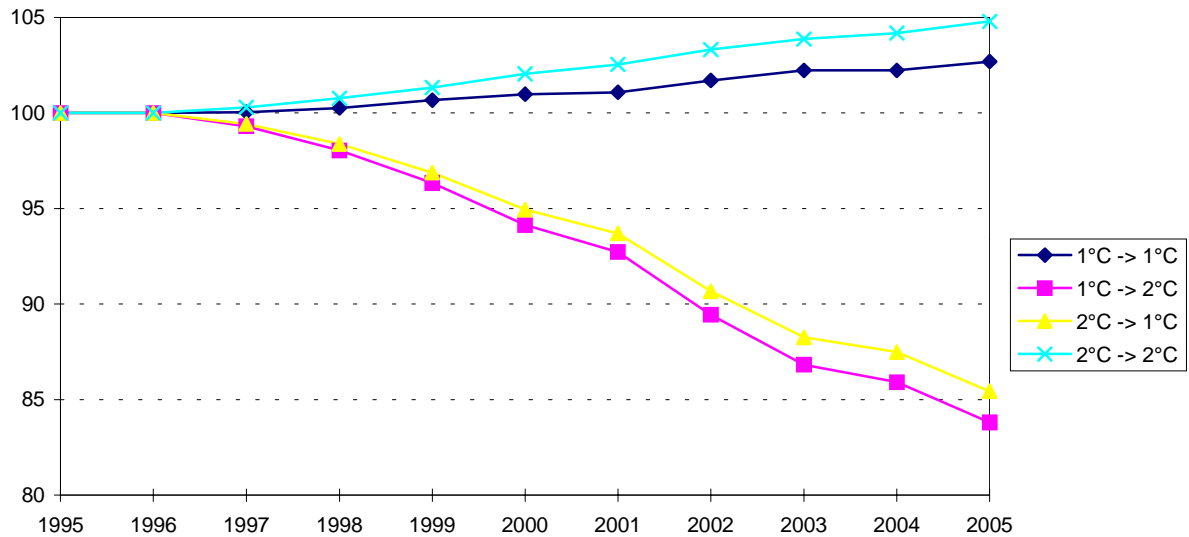
km/h	LV	1C	2C	total
LV	-4%	-4%	-4%	-7%
1C	-10%	-9%	-5%	-10%
2C	-17%	-14%	-10%	-13%
total	-9%	-10%	-10%	-10%

Ces évolutions différenciées des vitesses de circulation impliquent des évolutions également très différenciées des flux de déplacements en voiture particulière entre grandes zones, comme le montrent les graphiques et tableau ci-après.

Flux VP avec Lyon-Villeurbanne



Flux VP en périphérie



Les flux en voiture particulière se maintiennent à l'intérieur de Lyon-Villeurbanne et baissent légèrement entre Lyon-Villeurbanne et la 1^{ère} couronne. Par contre ceux entre la 2^{ème} couronne et Lyon-Villeurbanne chutent de 20% en 2005 par rapport à 1995. Enfin les flux en voiture particulière internes à la 1^{ère} couronne ou à la 2^{ème} couronne progressent légèrement tandis que les flux d'échange entre ces deux couronnes baissent d'environ 15%.

évolution 1995-2005

flux tous modes

<i>milliers dépl</i>	LV	1C	2C	total
LV	+2%	-2%	-17%	+0%
1C	-2%	+5%	-15%	+0%
2C	-16%	-14%	+5%	-0%
total	+0%	+0%	-1%	0%

flux modes légers

<i>milliers dépl</i>	LV	1C	2C	total
LV	+3%	0%	0%	+3%
1C	0%	+8%	0%	+8%
2C	0%	0%	+7%	+7%
total	+3%	+8%	+7%	+5%

flux VP ou TC

<i>milliers dépl</i>	LV	1C	2C	total
LV	+1%	-2%	-17%	-2%
1C	-2%	+3%	-15%	-3%
2C	-16%	-14%	+5%	-2%
total	-1%	-3%	-2%	-2%

flux VP

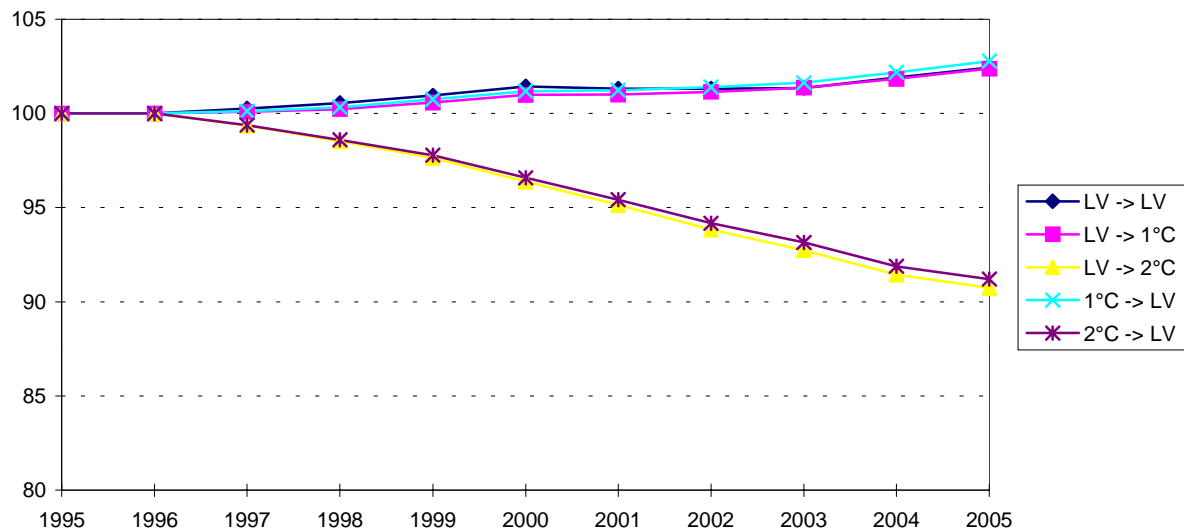
<i>milliers dépl</i>	LV	1C	2C	total
LV	-0%	-4%	-19%	-3%
1C	-3%	+3%	-16%	-3%
2C	-18%	-15%	+5%	-2%
total	-3%	-3%	-2%	-3%

flux TC

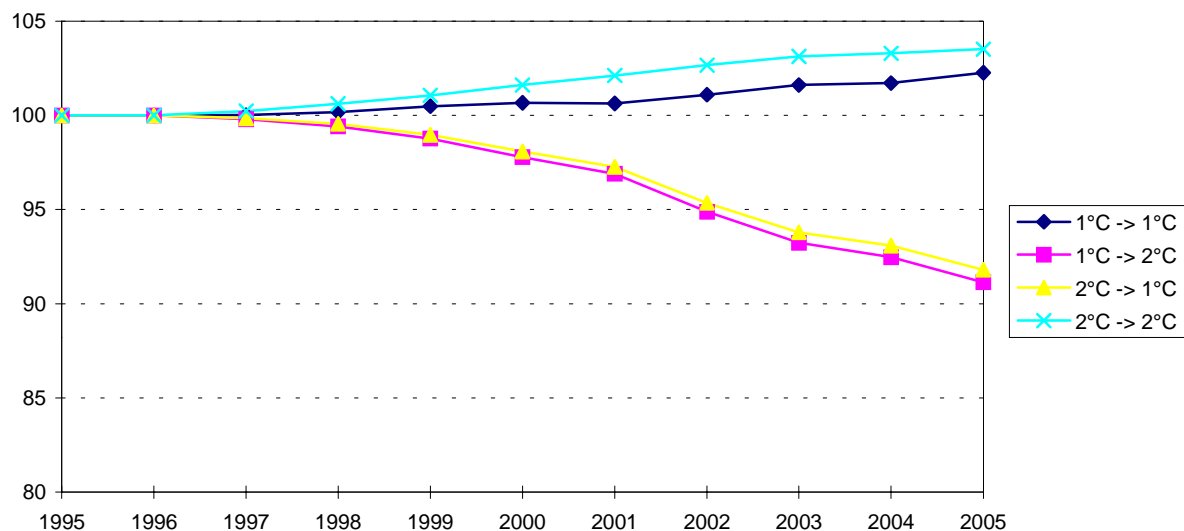
<i>milliers dépl</i>	LV	1C	2C	total
LV	+2%	+2%	-9%	+2%
1C	+3%	+2%	-9%	+1%
2C	-9%	-8%	+4%	-4%
total	+2%	+1%	-4%	+1%

Toutefois les transports collectifs ne sortent pas forcément indemnes de cette mécanique de dégradation des temps généralisés de parcours, comme le montrent les graphiques suivants.

Flux TC avec Lyon-Villeurbanne



Flux TC en périphérie



En effet, les flux de déplacements en transports collectifs dans tout le secteur Lyon-Villeurbanne et 1^{ère} couronne se maintiennent en augmentant très légèrement, ainsi que ceux *internes* à chacune des couronnes périphériques. Par contre les flux d'échange entre ces couronnes périphériques et entre Lyon-Villeurbanne et ces couronnes baissent de près de 10%. Ce résultat est toutefois dû, non pas à une baisse des vitesses qui se maintiennent mais à la mécanique du modèle, évoquée plus haut, dans laquelle l'augmentation des temps généralisés provoque une contraction des flux d'échange entre zones. Il est clair que cette mécanique du modèle produit des effets irréalistes en ce qui concerne les déplacements en transports collectifs, ce qui devra être corrigé.

vitesse pénalisées des déplacements TC

1995

km/h	LV	1C	2C	total
LV	8	12	12	10
1C	12	8	10	10
2C	13	11	5	10
total	10	10	9	10

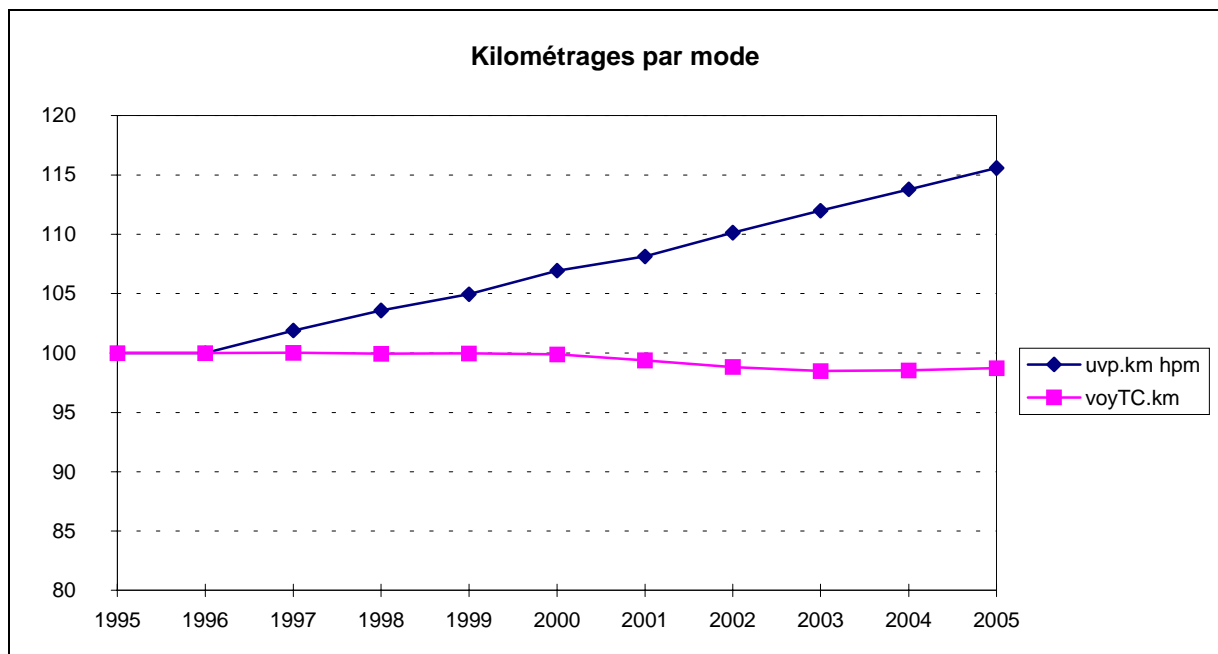
2005 (année en cours)

km/h	LV	1C	2C	total
LV	8	12	12	10
1C	12	7	10	10
2C	13	10	5	9
total	10	10	9	10

évolution 1995-2005

km/h	LV	1C	2C	total
LV	+0%	+1%	+0%	-0%
1C	+0%	-6%	-2%	-1%
2C	+0%	-4%	-5%	-4%
total	-0%	-1%	-4%	-1%

Enfin même s'il y a une légère baisse des flux de déplacements en voiture particulière à l'échelle de l'agglomération, les véhicules-kilomètres parcourus sont en augmentation non négligeable (+15% environ) : cette augmentation est due à la croissance continue des flux d'échange et de transit qui s'effectuent sur de plus longues distances que l'ensemble des déplacements de l'agglomération.



4.2. La sensibilité à l'évolution de la population et des emplois

Dans ce test, par rapport à la situation « zéro », seuls sont supposés évoluer, à un rythme identique à l'évolution de la période passée, différencié selon les trois grandes zones (Lyon-Villeurbanne, 1^{ère} couronne et 2^{ème} couronne) :

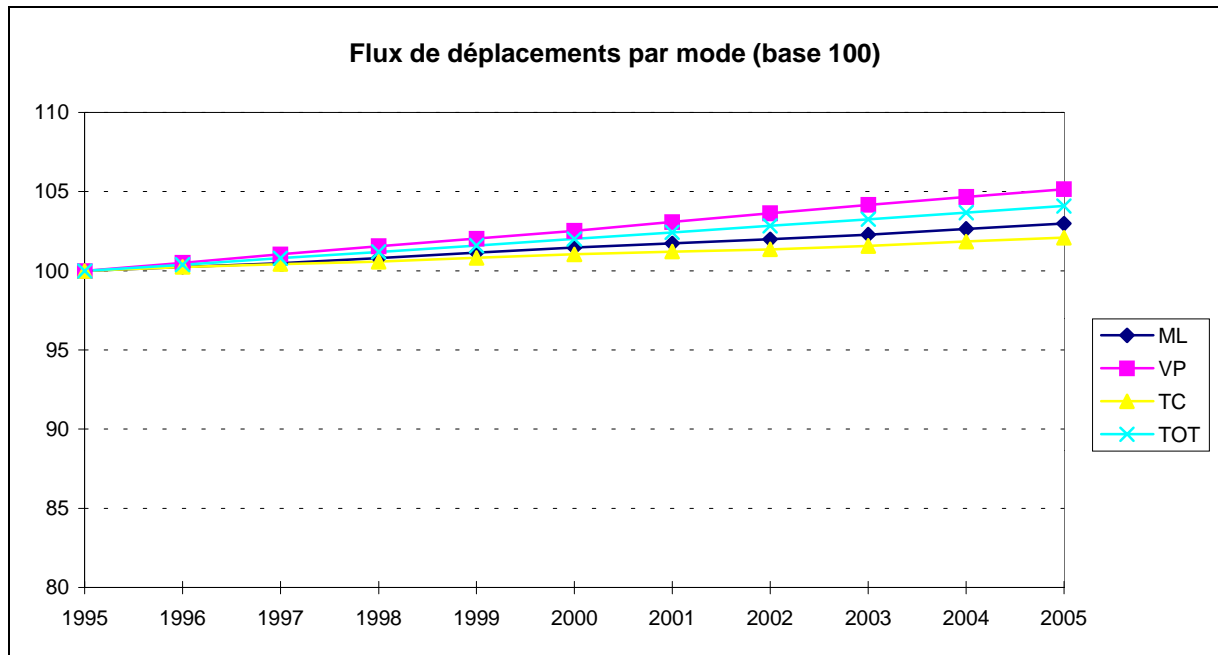
- la population (totale, scolaire et active) au rythme de 0,07% par an dans les zones 1 à 8 (Lyon-Villeurbanne), de 0,7% par an dans les zones 9 à 14 (1^{ère} couronne) et de 0,67% par an dans les zones 15 à 25 (2^{ème} couronne),
- les emplois (total, de commerce et tertiaire) au rythme de 0,16% par an dans Lyon-Villeurbanne, de 1,8% par an en 1^{ère} couronne et de 1,92% par an en 2^{ème} couronne,
- l'offre des établissements scolaires, collèges et lycées au même rythme que la population, celle des établissements du supérieur au rythme de 0,4% par an dans toutes les zones.

Cette évolution, prolongation du passé, se traduit par une augmentation plus forte de la population et des emplois dans les couronnes périphériques.

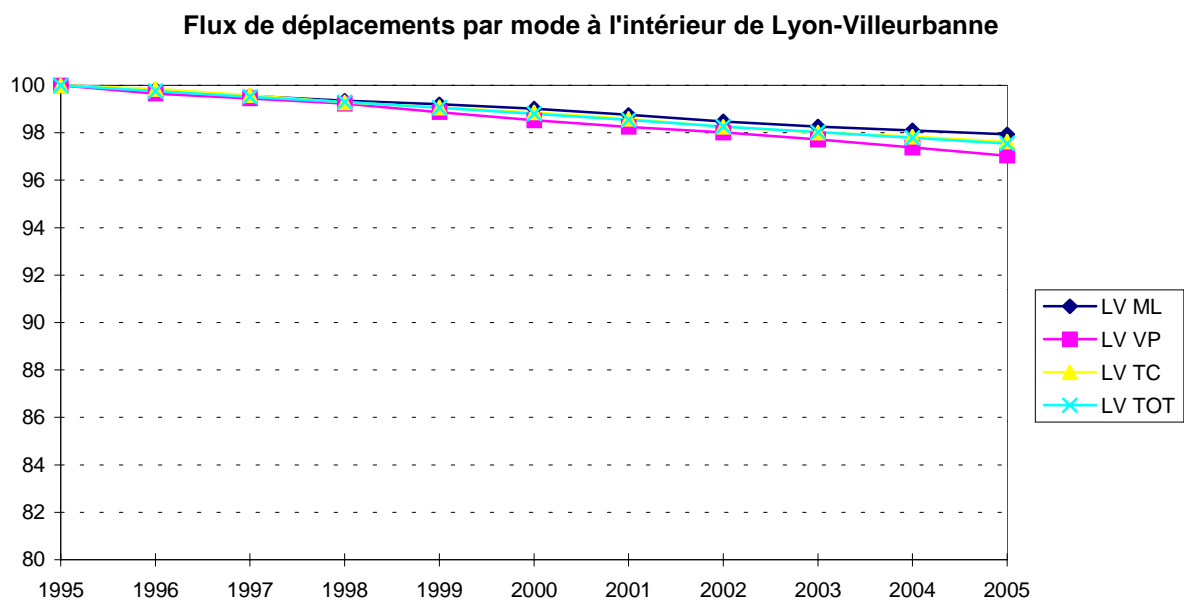
année en cours	2005									
hypothèses socio-démographiques										
1995										
	569 535	35 072	51 086	49 078	235 560	316 249	21 841	239 526	74 011	72 142
	316 402	24 353	35 884	15 264	127 894	138 599	10 862	90 586	34 592	22 089
	334 093	30 142	45 905	13 949	142 143	157 247	11 138	84 801	22 071	1 808
	1 220 030	89 566	132 876	78 291	505 597	612 095	43 841	414 914	130 674	96 039
2005 (année en cours)										
	573 534	35 318	51 445	49 422	237 214	321 346	22 193	243 386	74 531	75 080
	339 261	26 112	38 477	16 367	137 134	165 668	12 983	108 278	37 091	22 989
	357 165	32 223	49 075	14 912	151 959	190 185	13 471	102 565	23 595	1 882
	1 269 960	93 654	138 998	80 702	526 307	677 198	48 647	454 229	135 217	99 950
évolution 1995-2005										
	+3 999	+246	+359	+345	+1 654	+5 097	+352	+3 860	+520	+2 938
	+22 859	+1 759	+2 593	+1 103	+9 240	+27 069	+2 121	+17 692	+2 499	+900
	+23 071	+2 081	+3 170	+963	+9 816	+32 938	+2 333	+17 763	+1 524	+74
	+49 930	+4 087	+6 121	+2 411	+20 710	+65 103	+4 806	+39 315	+4 543	+3 911
évolution 1995-2005										
	1%	1%	1%	1%	1%	2%	2%	2%	1%	4%
	7%	7%	7%	7%	7%	20%	20%	20%	7%	4%
	7%	7%	7%	7%	7%	21%	21%	21%	7%	4%
	4%	5%	5%	3%	4%	11%	11%	9%	3%	4%

C'est ainsi que si ces évolutions restent globalement assez faibles (de l'ordre de 4% entre 1995 et 2005 pour la population totale), elles se différencient entre 1% pour Lyon-Villeurbanne et 7% pour les couronnes périphériques. L'évolution est in fine un peu plus forte pour les emplois avec une croissance globale de 11% entre 1995 et 2005 mais largement plus différenciée, puisque seulement de 2% dans Lyon-Villeurbanne et de 20% à 21% dans les couronnes périphériques.

Sur l'ensemble de l'agglomération, les flux de déplacements évoluent faiblement, au même rythme que la population, comme le montre la figure ci-dessous, tandis que les vitesses des déplacements en voiture particulière et en transports collectifs restent inchangées.

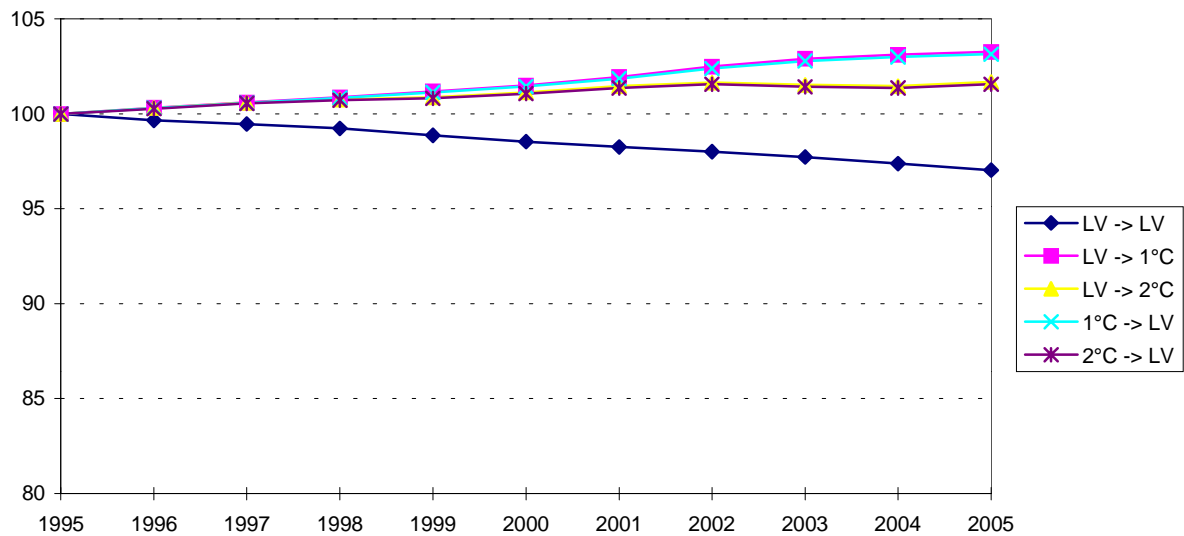


Comme les emplois (totaux, de commerce ou tertiaires) ainsi que les places d'établissements scolaires et universitaires croissent plus vite à l'extérieur qu'à l'intérieur de Lyon-Villeurbanne, les flux de déplacements internes à Lyon-Villeurbanne décroissent légèrement quelque soit le mode.



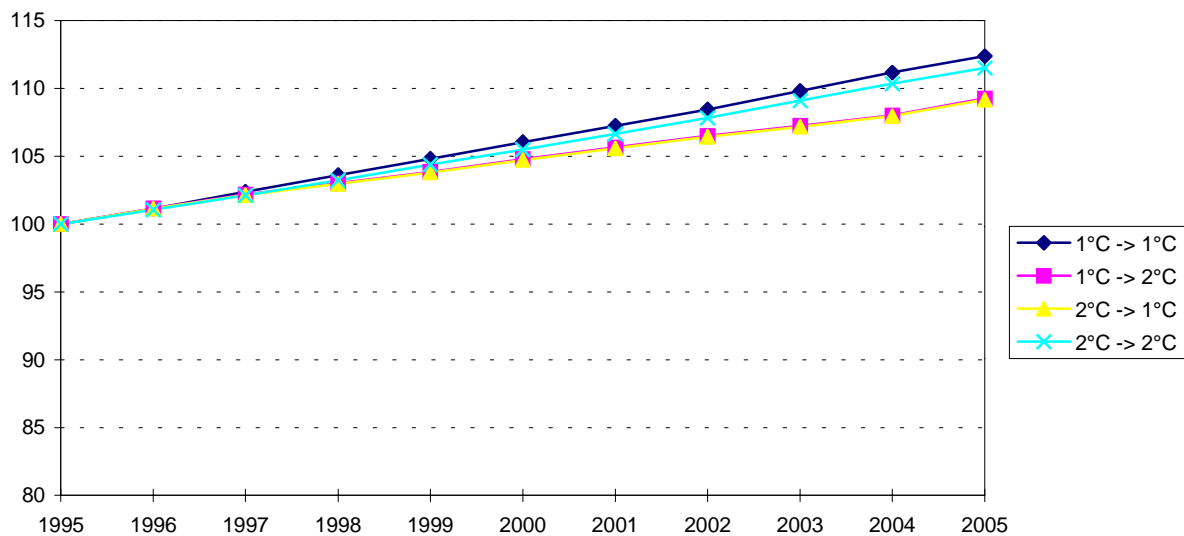
Par contre les flux d'échange entre Lyon-Villeurbanne et les deux couronnes croissent légèrement de l'ordre de 2 à 3% sur la période 1995-2005.

Flux VP avec Lyon-Villeurbanne



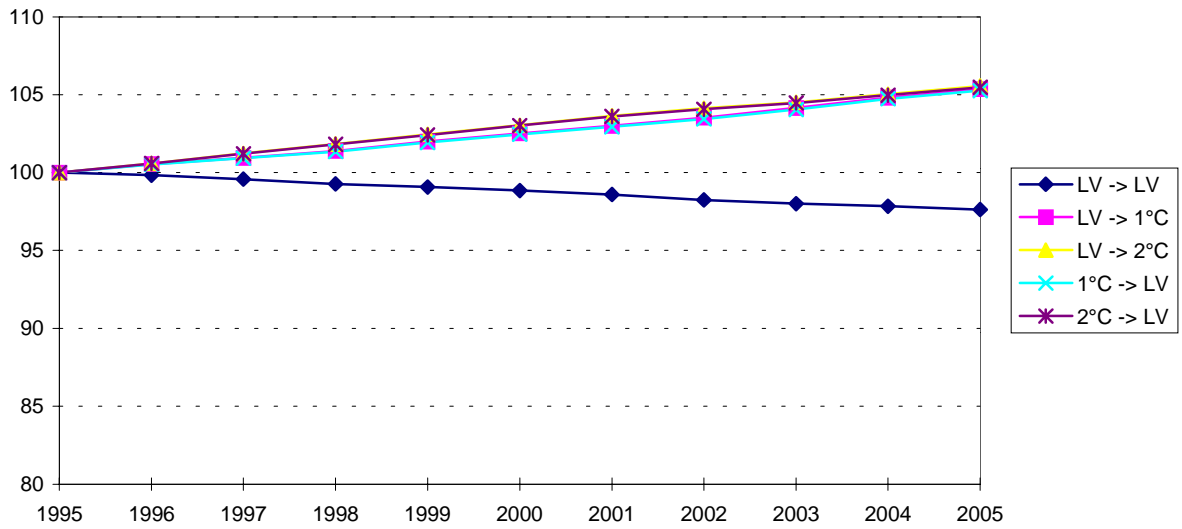
Les flux intra et inter couronnes périphériques croissent eux plus fortement, de 10% à 12% sur la période 1995-2005.

Flux VP en périphérie

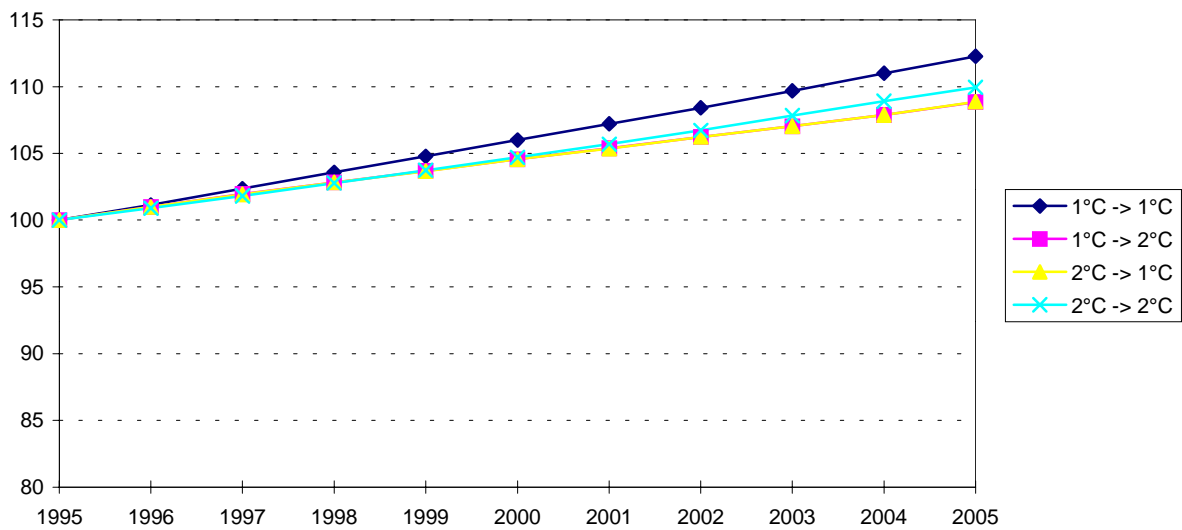


Enfin une tendance identique s'observe pour les flux de déplacements en transports collectifs, si ce n'est que la croissance des flux d'échange entre Lyon-Villeurbanne et les couronnes périphériques, croissent plus en transports collectifs qu'en voiture particulière (+5% contre +2 à 3%), alors que les flux de déplacements en transports collectifs en périphérie croissent à l'identique de ceux en voiture particulière.

Flux TC avec Lyon-Villeurbanne

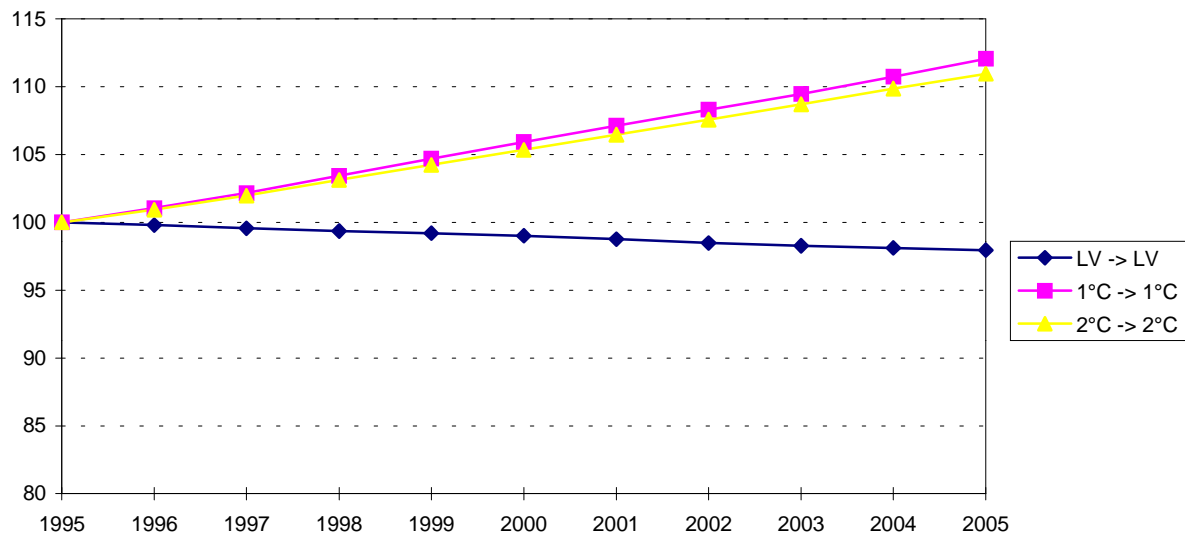


Flux TC en périphérie



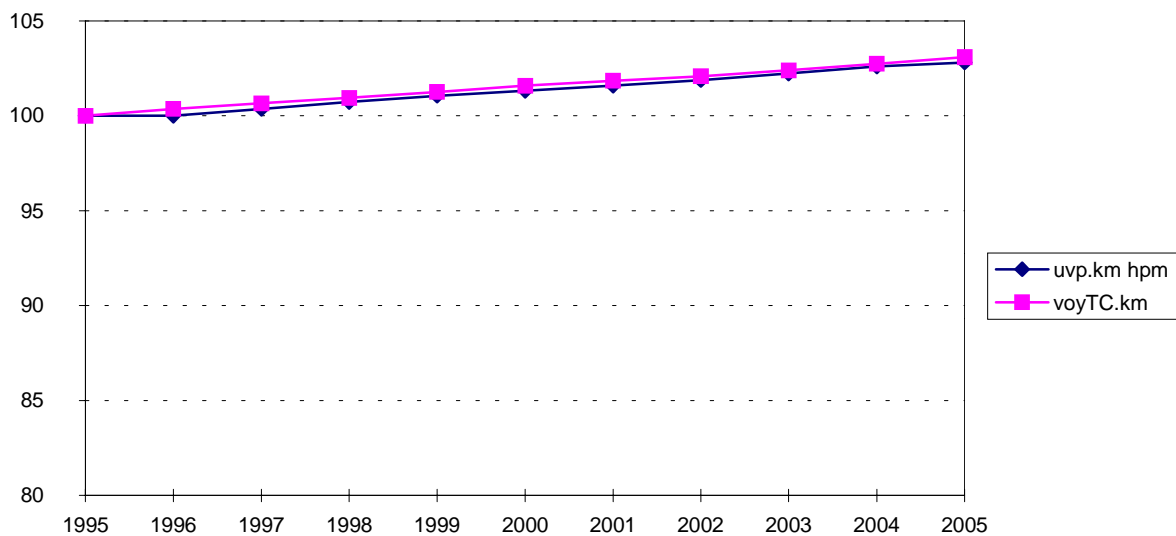
Les flux de déplacements en modes légers suivent la même tendance que celle des autres modes, avec une légère décroissance dans Lyon-Villeurbanne et une croissance de plus de 10% dans les couronnes périphériques.

Flux modes légers



In fine, comme la structure spatiale des déplacements n'est pas bouleversée et que les déplacements internes à l'agglomération sont à distance moyenne plus faible que ceux d'échange et de transit, les véhicules-kilomètres augmentent légèrement (+3%).

Kilométrages par mode



Cette évolution de la démographie et des emplois, assez faible mais à l'image de la période récente, ne provoque pas de saturation sur le réseau de voirie, comme en témoigne le fait que les vitesses des déplacements en voiture particulière et en transports collectifs ne varient pratiquement pas. Il n'y a donc pas de transfert modal et les voyageurs-kilomètres en transports collectifs varient à l'identique des véhicules-kilomètres.

4.3. La sensibilité aux revenus et à la motorisation

Dans ce test, par rapport à la situation « zéro », seuls sont supposés évoluer les revenus et corrélativement la motorisation et la valeur du temps. Plus précisément,

- le revenu et la valeur du temps augmentent au rythme de 1,5% par an,
- la motorisation dans chacune des 25 zones évolue au rythme de 1,5% par an.

Ce taux de croissance de 1,5% par an est un taux inférieur au taux constaté pour les revenus sur la période 1976-1995, qui était en moyenne de 2% par an. Ce taux choisi correspond donc à une hypothèse de croissance modérée des revenus. Pour maintenir la cohérence du test, la motorisation est donc supposée évoluer au même rythme, de même que la valeur du temps.

En conséquence sur la période 1995-2005 la motorisation augmente de 16%. Comme la mobilité (nombre moyen de déplacements par personne) tous motifs dépend du revenu, le total des déplacements augmente, et ce de 2% entre 1995 et 2005.

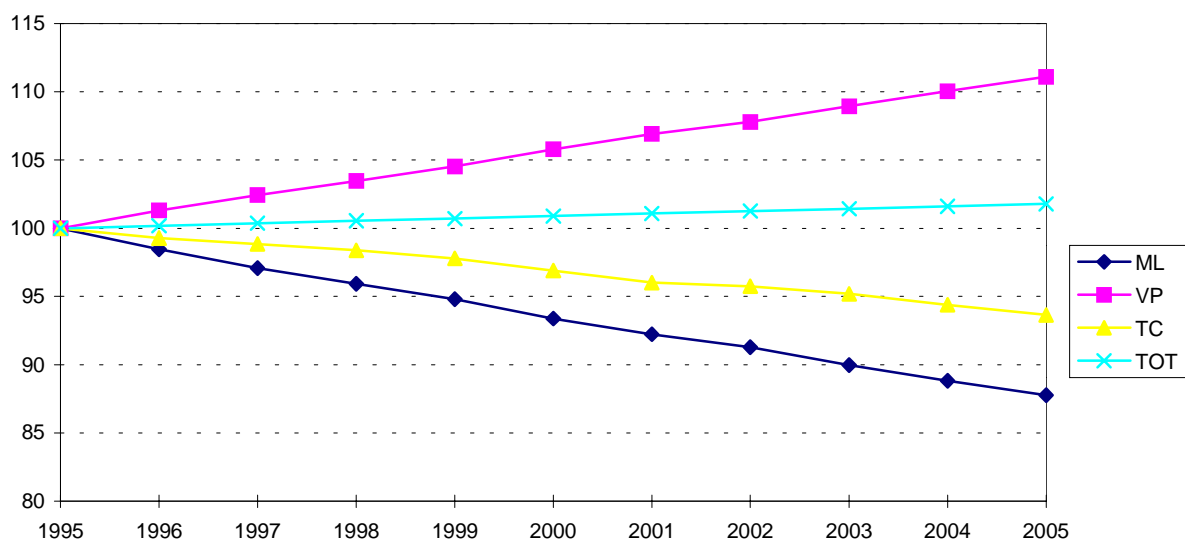
Comme la population n'évolue pas, et étant donné les hypothèses de génération constante des chaînes de déplacements associées à chacun des cinq motifs (travail, école primaire, lycée et collège, enseignement supérieur et achats), la hausse des déplacements résultant du jeu des revenus est entièrement associée au dernier motif ('M4', autres motifs et déplacements secondaires).

Les vitesses des transports collectifs n'évoluent pratiquement pas. Les vitesses des voitures particulières évoluent légèrement à la baisse, sauf dans les échanges internes à la 1^{ère} couronne et à la 2^{ème} couronne.

L'évolution des flux de déplacements par mode est très différenciée. En effet les flux totaux de déplacements augmentent très légèrement, mais cette quasi-invariance recouvre :

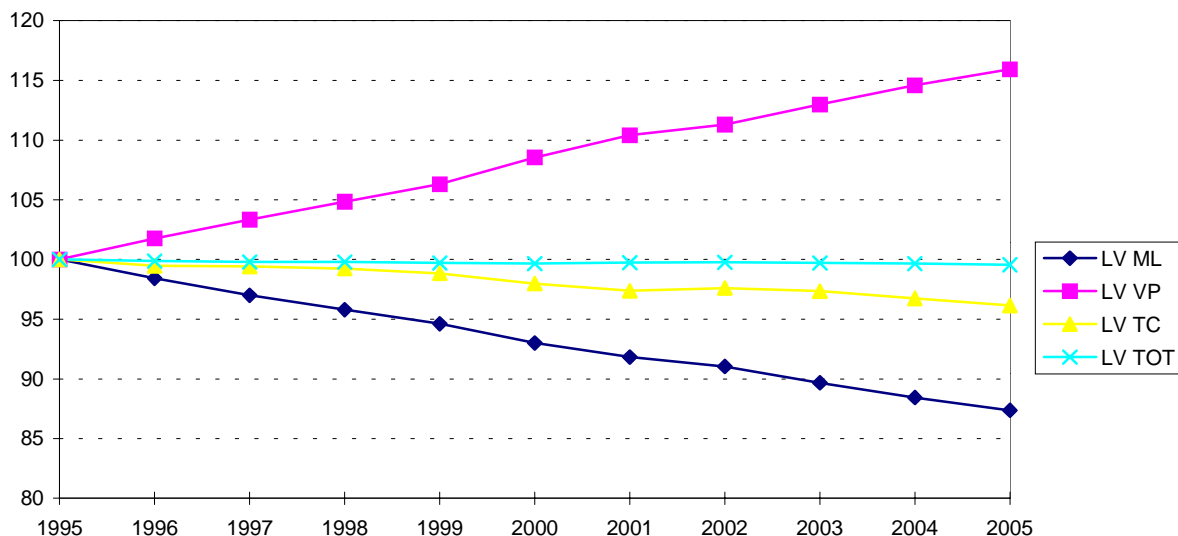
- une forte augmentation des déplacements en voiture particulière (+11%),
- une forte décroissance des déplacements en modes légers (-12%),
- une baisse modérée des déplacements en transports collectifs(-6%).

Flux de déplacements par mode (base 100)



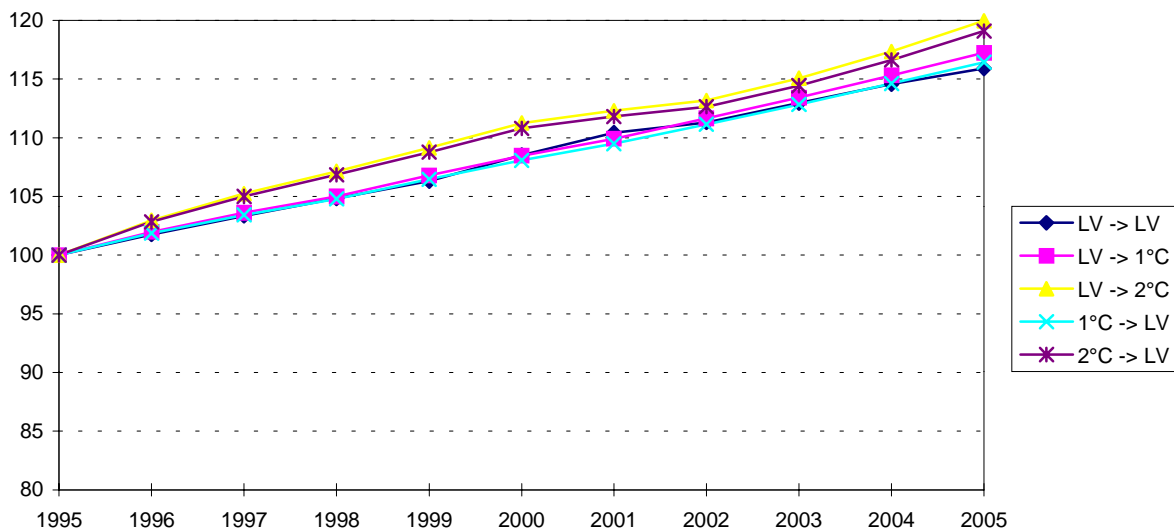
Ces évolutions se retrouvent quasi à l'identique pour les flux de déplacements internes à Lyon-Villeurbanne, sauf que l'augmentation des flux de déplacements en voiture particulière y est de plus de 15%.

Flux de déplacements par mode à l'intérieur de Lyon-Villeurbanne



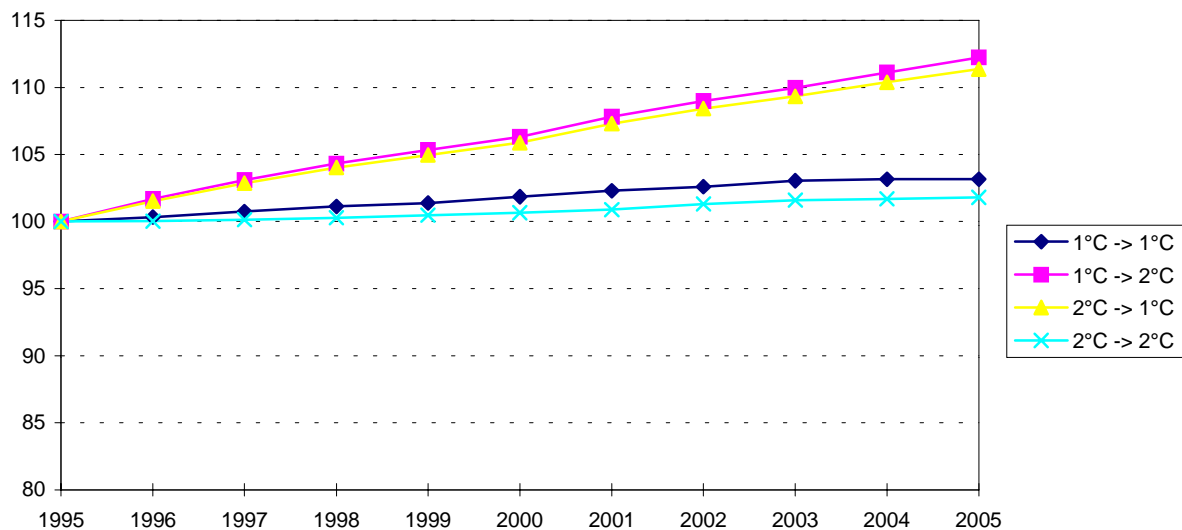
Les flux de déplacements en voiture particulière d'échange avec Lyon-Villeurbanne croissent de 15% à 20% entre 1995 et 2005.

Flux VP avec Lyon-Villeurbanne



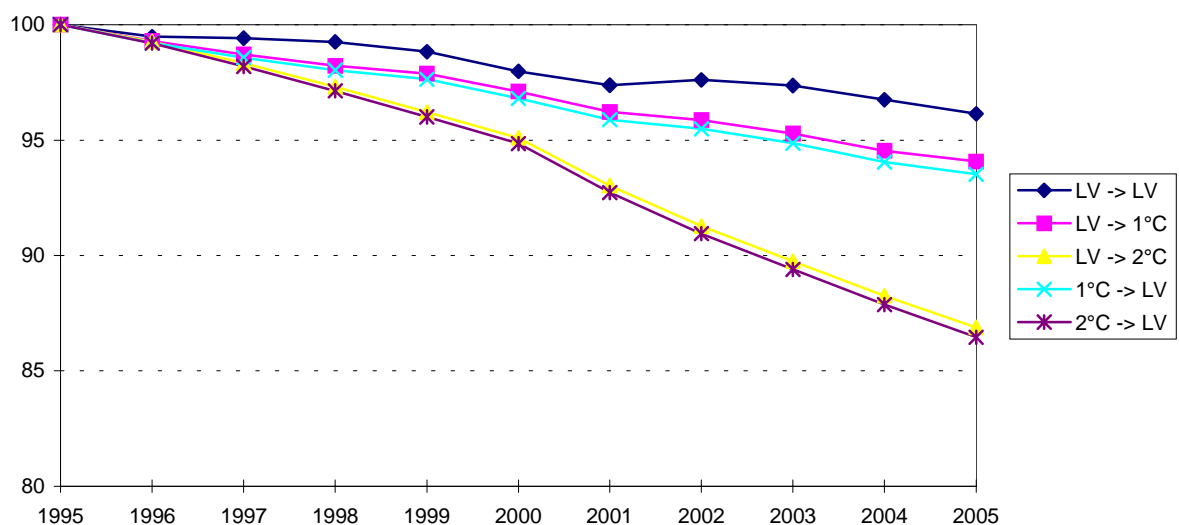
Outre les flux en voiture particulière *internes* à Lyon-Villeurbanne, ce sont donc aussi les flux radiaux qui sont en plus forte augmentation. Les flux de déplacements en voiture particulière internes à la périphérie augmentent moins, puisque les flux *internes* aux couronnes périphériques n'augmentent que très faiblement tandis que ceux *entre* les couronnes périphériques augmentent d'un peu plus de 10%.

Flux VP en périphérie



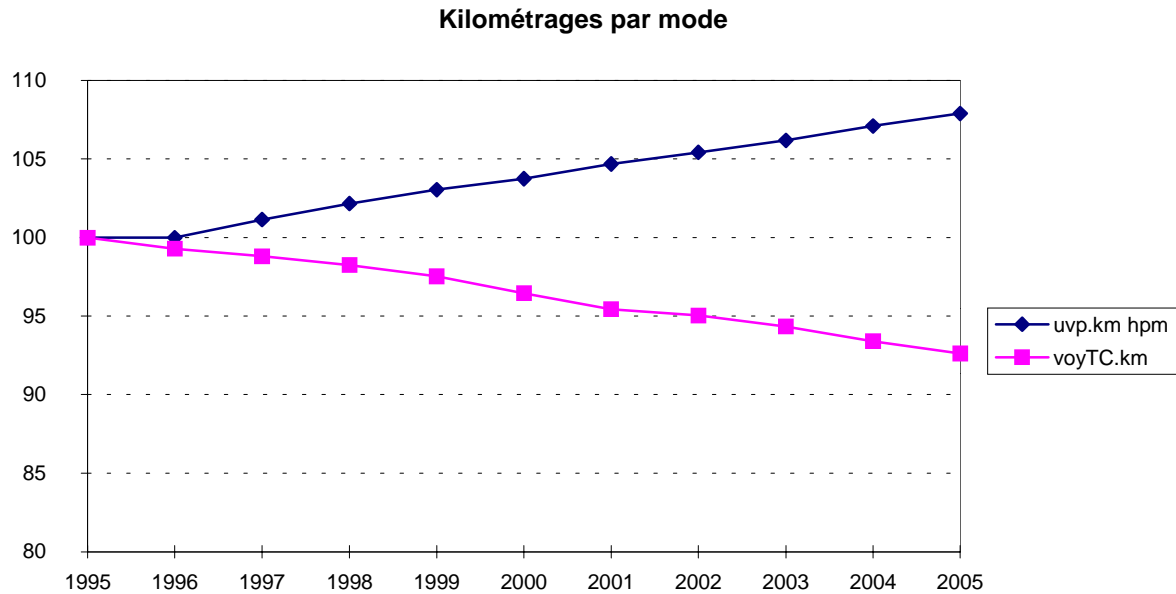
Corrélativement les flux de déplacements en transports collectifs subissent des évolutions à l'inverse. Les flux radiaux entre la 2^{ème} couronne et Lyon-Villeurbanne diminuent de 14%, ceux entre la 1^{ère} couronne et Lyon-Villeurbanne de 6% et ceux internes à Lyon-Villeurbanne de 4%.

Flux TC avec Lyon-Villeurbanne



Enfin la chute des transports collectifs est dans l'ensemble plus forte en périphérie : -8% pour les déplacements internes à la 2^{ème} couronne, -12% pour les déplacements internes à la 1^{ère} couronne et d'échange avec la 2^{ème} couronne.

Ces évolutions se traduisent par une divergence entre véhicules-kilomètres, qui augmentent de 8%, et voyageurs-kilomètres en transports collectifs, qui diminuent de 7%.



4.4. La sensibilité à l'offre routière

Dans ce test, par rapport à la situation « zéro », seule est supposée évoluer l'offre routière, telle que devant entrer en fonctionnement entre 1995 et 2005. Il s'agit essentiellement de l'ouverture du boulevard périphérique nord de Lyon, à péage (« Téo »). C'est un ouvrage d'environ 11 km, comprenant trois tunnels et un viaduc, l'ouverture devant s'étaler sur l'année 1997. Les caractéristiques de cet ouvrage sont définies ainsi (tarifs estimés au moment des tests en mai 1997) :

- entre les zones 14 et 6, une capacité de 6.000 véh/h avec un péage de 6F ;
- entre les zones 6 et 9, une capacité de 4.000 véh/h avec un péage de 10F ;
- entre les zones 9 et 8, une capacité de 6.000 véh/h avec un péage de 4F.

La mise en service étant supposée réalisée au 1^{er} janvier 1998, les paramètres de l'offre routière sont modifiés en ajoutant les capacités de l'ouvrage aux capacités existantes, en pondérant le péage au prorata des capacités actuelles mixant une voirie gratuite et une voirie à péage, en pondérant également les vitesses à vide au même prorata, avec une vitesse de 40km/h sur voirie classique et de 80km/h sur voirie autoroutière. Cela donne :

- entre les zones 14 et 6, une vitesse à vide de 60km/h avec un péage de 3F ;
- entre les zones 6 et 9, une vitesse à vide de 80km/h avec un péage de 9F ;
- entre les zones 9 et 8, une vitesse à vide de 60km/h avec un péage de 2F.

Sur chacune de ces trois liaisons, la vitesse à vide était auparavant de 40km/h et aucun péage n'était appliqué.

Comme le montre le tableau ci-dessous, cet accroissement de capacité se traduit par une amélioration des vitesses des déplacements en voiture particulière, essentiellement en 1^{ère} couronne et par conséquent dans Lyon-Villeurbanne, zones directement concernées par cette infrastructure. Par contre les transports collectifs ne voient pas leur vitesse varier.

vitesses des déplacements VP

1995

km/h	LV	1C	2C	total
LV	10	17	26	13
1C	14	12	24	16
2C	21	22	16	18
total	12	16	19	16

2005 (année en cours)

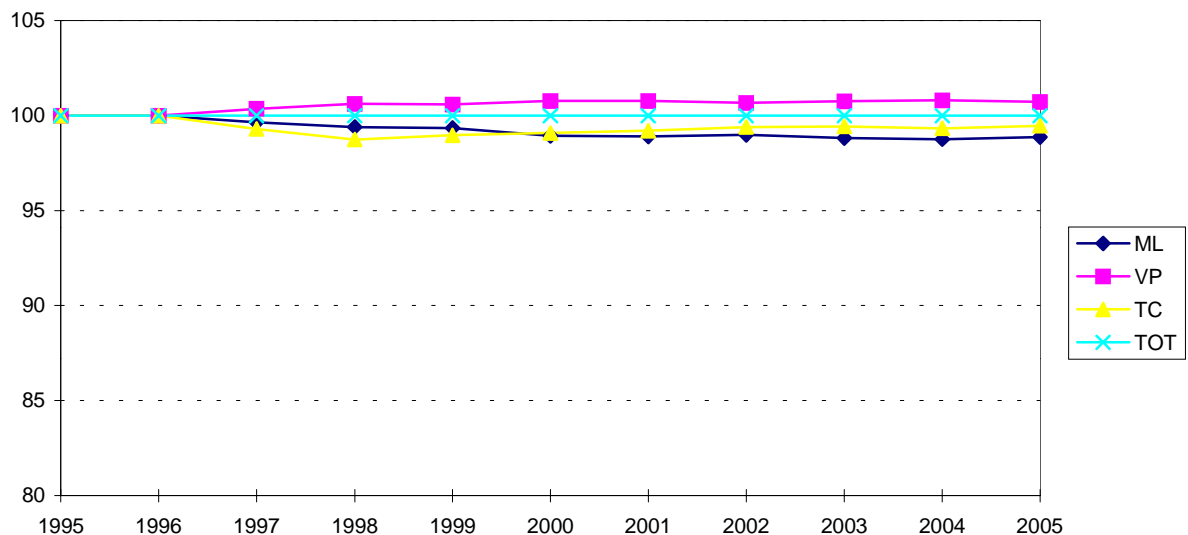
km/h	LV	1C	2C	total
LV	10	17	26	14
1C	14	13	24	16
2C	21	22	16	18
total	13	17	19	16

évolution 1995-2005

km/h	LV	1C	2C	total
LV	+2%	+1%	+0%	+2%
1C	+4%	+4%	+1%	+3%
2C	+1%	+0%	+0%	+1%
total	+3%	+2%	+1%	+2%

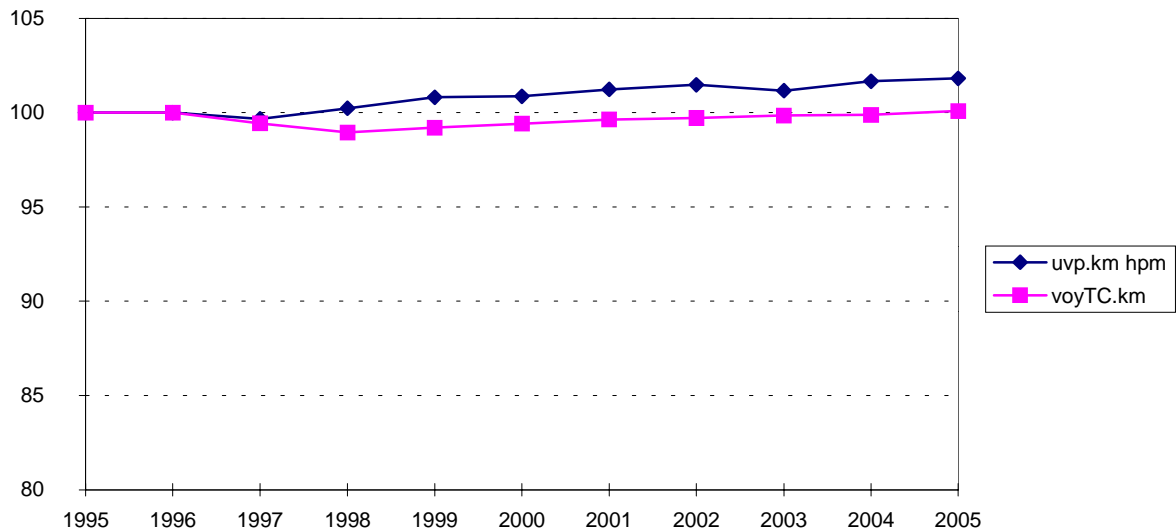
Vue à l'échelle de l'agglomération, l'impact *isolé* d'un tel type d'infrastructure n'apporte que très peu de changements puisque seule a lieu une légère translation, logique, des flux globaux par mode.

Flux de déplacements par mode (base 100)



Cette différenciation est à peine plus forte dans les flux de déplacements internes à Lyon-Villeurbanne, comme d'ailleurs les autres flux. Les flux en voiture particulière en périphérie ne semblent pas varier ainsi que les différents flux en transports collectifs qui restent autour de la base 100. Seuls les flux en modes légers baissent très légèrement (de 1 à 2 points) dans chacune des trois grandes zones. Enfin la structure spatiale des déplacements ne semble pas bouleversée, seule joue la réaffectation des flux, et les distances parcourues en voiture particulière augmentent faiblement.

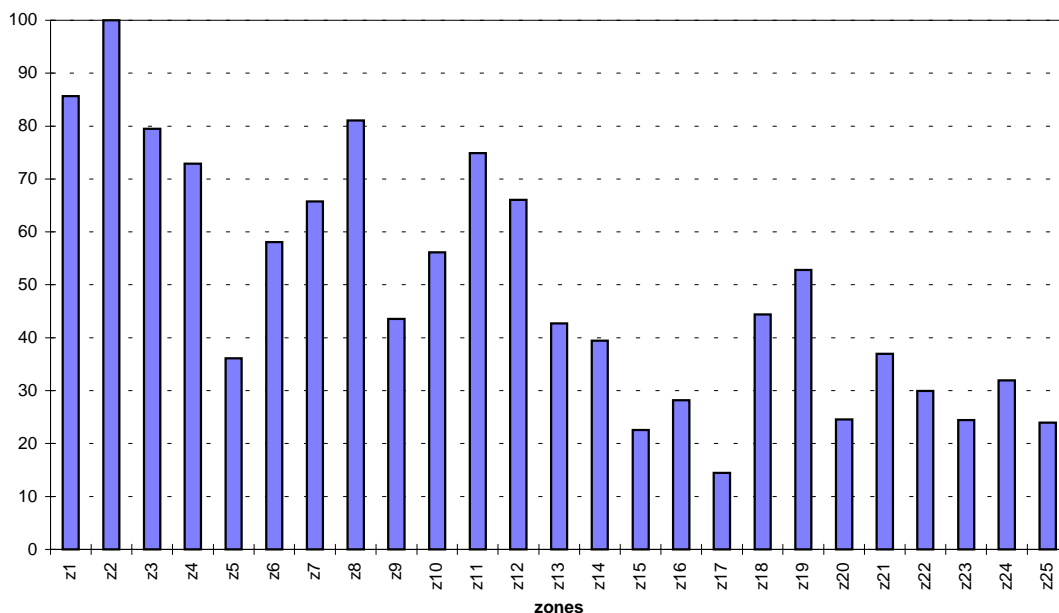
Kilomètres par mode



Une analyse à un niveau trop global ne permet pas de déceler d'impact important d'une infrastructure telle que le boulevard périphérique nord. C'est à travers les accessibilités (cf. travaux de Koenig), indicateurs composites des opportunités d'emplois accessibles depuis chaque zone, pondérées par une fonction de résistance issue du modèle de distribution, que l'on peut apprécier l'effet plus local du boulevard périphérique nord.

En 1995, la comparaison des accessibilités des différentes zones aux emplois, rapportées en base 100 à la zone 2 (Part-Dieu / Rive-Gauche), donne le graphique suivant.

**Accessibilités aux emplois en 1995
(base 100 = zone 2 Part-Dieu / Rive-Gauche)**



Le découpage en 25 zones du modèle stratégique

(Source : carte élaborée d'après *l'Atlas du Grand Lyon*, INSEE, Cartographie et Décision, 1994)

Avec une accessibilité se situant à un indice entre 50 et 100 par rapport à la zone 2, on peut distinguer deux ensembles de zones qui reflètent la concentration des emplois. Il s'agit : des zones de Lyon et Villeurbanne (zones 1 à 8), concentrant 45% des emplois du périmètre, à l'exception du 5^{ème} arrondissement de Lyon (zone 5) qui marque son caractère plutôt résidentiel ; des zones 10 à 12 et 19 (Vaulx / Décines / Bron / Vénissieux / St Priest) qui concentrent les emplois de l'Est lyonnais.

Le tableau ci-après rappelle les répartitions des emplois par zone en 1995.

Répartition des emplois par zone en 1995

1995			
	8%	10%	10%
	16%	14%	18%
	7%	7%	8%
	5%	5%	6%
	1%	1%	2%
	3%	3%	3%
	2%	3%	2%
	9%	7%	8%
	2%	3%	2%
	5%	4%	4%
	3%	5%	4%
	6%	4%	5%
	3%	3%	4%
	3%	5%	4%
	2%	2%	1%
	2%	2%	2%
	2%	2%	1%
	3%	1%	2%
	4%	6%	3%
	1%	2%	1%
	2%	2%	1%
	2%	1%	1%
	4%	3%	3%
	4%	6%	4%
	1%	1%	1%
	100%	100%	100%

Le tableau ci-après montre le différentiel d'accessibilité procuré par le boulevard périphérique nord considéré isolément (différence avec le scénario « zéro »).

Variations d'accessibilité procurées par une offre routière de type TEO,
toutes choses égales par ailleurs

Accessibilités en voiture particulière

	aux emplois	aux empl. de commerce	aux emplois tertiaires
z1	2%	1%	1%
z2	0%	-1%	-1%
z3	7%	7%	8%
z4	-2%	-2%	-2%
z5	11%	9%	9%
z6	19%	17%	16%
z7	9%	8%	8%
z8	6%	7%	7%
z9	35%	31%	33%
z10	4%	5%	5%
z11	3%	3%	4%
z12	-2%	-2%	-2%
z13	11%	10%	9%
z14	6%	4%	4%
z15	5%	4%	5%
z16	4%	4%	5%
z17	0%	1%	1%
z18	2%	2%	2%
z19	2%	2%	3%
z20	2%	2%	3%
z21	1%	1%	1%
z22	2%	2%	2%
z23	3%	2%	2%
z24	3%	2%	2%
z25	-8%	-9%	-8%

Attention toutefois à ne pas trop vouloir plaquer les résultats du modèle sur la réalité concrète de l'offre de transport : le mode de représentation de l'offre routière par le modèle stratégique considère chaque zone comme un sommet d'un graphe d'arcs routiers. Le modèle ne prend pas en compte les difficultés concrètes d'accès à tel ou tel endroit de la zone (si ce n'est sous forme d'un temps moyen constant de 12 mn) et donc les effets de la localisation précise d'une infrastructure à l'intérieur d'une zone ne sont pas l'objet du modèle.

Sous les réserves mentionnées ci-dessus, l'effet apparaît le plus fort pour la zone 9 (Caluire et Cuire) qui bénéficie d'une amélioration spectaculaire de son accessibilité routière aux emplois, par rapport à une situation assez enclavée initialement. Les accessibilités aux différents types d'emploi pour cette zone 9 augmentent de plus de 30% (31% pour les emplois de commerce, 33% pour les emplois tertiaires, 35% pour les emplois en général, y compris les emplois industriels).

La deuxième zone bénéficiaire est la zone 6 (Lyon 9^{ème} arrondissement) dont les différentes accessibilités aux emplois augmentent de 16% à 19%. Les zones bénéficiaires suivantes sont les zones 5 (Lyon 5^{ème} arrondissement) et 13 (Ste Foy / Oullins / Pierre-Bénite) qui bénéficient d'une amélioration de leurs accessibilités de l'ordre de 10%.

Par contre la zone 14 (Ecully / Tassin), bien que dotée d'une accessibilité assez moyenne (indice inférieur à 40), ne semble que faiblement (+6% d'accessibilité) profiter de la nouvelle

infrastructure qui la dessert pourtant. Enfin, a contrario, la zone 25 (Monts d'Or) voit son accessibilité aux emplois se dégrader (-8%).

Comment expliquer ces évolutions divergentes et parfois contradictoires au premier abord ? Le tableau ci-après donne les variations brutes de temps généralisé moyen de zone à zone (temps de déplacement porte à porte en voiture particulière + péage transformé en temps par la valeur du temps - maintenue constante à 70 F₉₅) entre la situation avec offre routière et la situation de 1995 (ou, ce qui est équivalent, le point zéro). L'examen de ce tableau permet d'apporter des éléments de réponse, puisque par hypothèse dans ce test, les localisations des emplois ne varient pas. Les améliorations (variations négatives) ou dégradations (variations positives) des temps généralisés de zone à zone résultent du jeu combiné de l'amélioration de l'offre routière et de la réaffectation consécutive des déplacements entre zones. En effet les populations et emplois par zone restent inchangés, mais le modèle autorise une réallocation des déplacements au gré de l'évolution des conditions de déplacements. Ce temps généralisé intervient dans une exponentielle négative dans le calcul des accessibilités, donc les variations brutes auront d'autant plus d'importance que le temps généralisé est élevé.

Variations de temps généralisés en voiture de zone à zone
procurées par une offre routière de type TEO,
toutes choses égales par ailleurs

mn	z1	z2	z3	z4	z5	z6	z7	z8	z9	z10	z11	z12	z13	z14	z15	z16	z17	z18	z19	z20	z21	z22	z23	z24	z25	
z1	0	-0	-0	-1	0	0	0	-1	0	-1	-0	-1	0	1	0	-2	-1	-0	-0	-0	-0	-0	-0	1	0	z1
z2	0	0	0	1	1	0	0	-1	0	-1	0	0	1	1	0	-2	-1	0	0	0	0	0	0	1	0	z2
z3	-3	-4	0	-10	-2	-7	-4	0	-1	0	0	0	1	-5	-1	-2	0	0	0	0	0	0	1	-5	-0	z3
z4	-0	0	1	0	0	-0	-0	1	-0	1	1	0	-0	1	-0	-2	1	1	1	1	0	0	-1	1	-0	z4
z5	0	0	-2	0	0	0	0	-13	-14	-9	-4	-4	0	0	1	-3	-9	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-0	0	z5
z6	-0	-0	-6	0	0	0	-0	-18	-15	-9	-12	-4	0	1	1	-3	-9	-9	-9	-9	-6	-4	-0	1	0	z6
z7	-1	-0	-0	1	0	0	0	-4	0	-4	-4	-1	0	1	0	-2	-4	-4	-4	-4	-4	-1	-0	1	0	z7
z8	-3	-4	0	-6	-8	-8	1	0	-1	0	0	0	2	-7	-1	-2	0	-0	0	0	0	0	1	-7	0	z8
z9	2	1	-4	0	-7	-7	3	-4	0	-4	-4	-4	-7	-6	0	-2	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-7	-6	1	z9
z10	-3	-4	0	-6	-8	-8	1	0	-1	0	-0	-0	2	-7	-2	-2	0	-0	-0	-0	-0	0	1	-7	-3	z10
z11	-5	-5	-2	-1	2	-7	2	0	-0	0	0	0	2	-3	-0	-2	0	0	0	0	0	0	1	-3	1	z11
z12	-2	-5	0	1	2	2	-3	1	-0	0	0	0	2	2	-0	-2	0	0	0	0	0	0	1	2	2	z12
z13	-0	0	-2	0	0	0	-0	-4	-2	-4	-4	-4	0	0	1	-3	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-0	0	0	z13
z14	2	2	2	1	0	-3	2	-8	-7	-6	-4	-4	0	0	1	0	-6	-6	-4	-4	-4	-4	-0	0	0	z14
z15	3	2	-4	1	1	1	3	-4	1	2	-4	-4	1	0	0	0	2	2	-2	0	-2	-3	1	-1	-1	z15
z16	-0	-1	-2	-2	-4	-4	1	-2	-2	2	-0	-0	-4	-0	0	0	2	2	2	2	2	0	-4	-1	-1	z16
z17	-2	-3	1	-5	-6	-7	2	1	-0	1	-0	-0	1	-7	-1	-1	0	-0	-0	-0	-0	-0	1	-7	-3	z17
z18	-3	-4	-0	-2	1	-8	1	0	-1	0	0	-0	2	-6	-2	-2	0	0	0	-0	0	0	1	-6	-3	z18
z19	-5	-5	-2	-1	2	-7	2	0	-0	0	0	-0	2	-3	-0	-2	0	0	0	0	0	0	1	-3	1	z19
z20	-5	-5	-2	-1	2	-7	2	0	-0	0	-0	-0	2	-3	-0	-2	0	-0	-0	0	-0	-0	1	-3	1	z20
z21	-5	-5	-1	1	2	-4	2	0	-0	0	0	-0	2	0	-0	-2	0	0	0	0	0	0	1	0	1	z21
z22	-2	-6	-0	1	1	1	-2	0	-0	0	0	-1	1	1	-0	-2	0	0	0	0	0	0	1	1	1	z22
z23	0	1	-1	1	1	1	0	-3	-1	-3	-3	-4	1	1	1	-2	-3	-3	-3	-3	-3	-3	0	1	1	z23
z24	2	2	2	1	0	-3	2	-8	-7	-3	-4	-4	1	0	1	1	-3	-3	-4	-4	-4	-4	0	0	1	z24
z25	3	3	-3	2	2	2	3	-3	1	3	-3	-2	2	1	1	1	3	2	-1	1	-1	-2	2	0	0	z25

En effet la zone 9, qui ne concentre que 2% des emplois, voit une légère dégradation de son temps d'accès aux zones 1 et 2 (+1 à +2 minutes) mais par contre une amélioration avec les zones 3 et 8 (-4 mn), avec les zones 10 à 12 de l'Est lyonnais (-4 à -7 mn), ainsi qu'avec la plupart des autres zones (zones 13, 14 et 16 à 23). La légère dégradation d'accès aux emplois de l'hypercentre est donc largement compensée par l'amélioration d'accès à toutes les autres zones.

De même la zone 6, qui ne concentre que 3% des emplois, connaît soit une stagnation de son temps d'accès aux zones centrales, soit une amélioration de 3 mn du temps d'accès à la zone 3 (7% des emplois) et des améliorations importantes des temps d'accès (de l'ordre de 10 à 20 mn) aux zones 8 à 11 (19% des emplois).

La zone 5 connaît également des améliorations des temps d'accès dans le même sens que la zone 6 mais à un niveau moins élevé, ce qui résulte en un gain d'accessibilité plus faible (+11%).

La zone 13 profite également d'améliorations des temps d'accès bien qu'avec des variations de temps généralisé plus faible, mais avec des temps plus longs pour les accès aux emplois de l'Est. Il en résulte logiquement un gain d'accessibilité proche de celui de la zone 6 (+11%). Ces deux zones, bien que le tracé du boulevard périphérique nord ne les touche pas directement, profitent des nouvelles opportunités d'accès au emplois situé à l'Est (zone 8, Villeurbanne, notamment) en empruntant le périphérique nord, plutôt que le contournement par le sud-est ou la traversée de Lyon. Simultanément elles bénéficient d'accès radiaux inchangés aux emplois des zones hypercentrales.

Au contraire la zone 14 voit ses accès radiaux se dégrader (+ 2mn pour les accès aux zones 1, 2 et 3). Les baisses de 4 à 8 mn sur les zones 8 à 12 ne suffisent pas à compenser la dégradation d'accessibilité aux emplois de l'hypercentre.

La zone 25 voit ses accès aux zones centrales se dégrader de 2 à 3 mn, sauf pour les zones 3 et 8 où le contournement (périphérique Nord puis Est) permet de maintenir un accès rapide, tandis que ses gains sont inexistant sur l'Est lyonnais. Il en résulte logiquement une dégradation de l'accessibilité globale de cette zone aux emplois.

Tout se passe comme si l'amélioration de l'offre routière en contournement Nord est mis à profit par les zones qui bénéficient déjà d'un bon accès radial aux emplois de l'hypercentre. Les zones de deuxième couronne au Nord subissent le contrecoup de cet afflux de voitures par une dégradation de leur accessibilité radiale à l'hypercentre sans compensation suffisante par l'accès aux emplois de l'Est.

5. Une exploration des sources d'incertitudes dans la prévision

Ce modèle peut donc être appliqué pour évaluer les différentes sources d'incertitudes selon trois catégories : la première recouvre l'erreur globale d'estimation évoquée en introduction, la seconde regroupe les incertitudes concernant le contexte exogène au modèle, la troisième est liée à la projection dans le futur des mécanismes actuels de comportement. Après avoir détaillé ces différentes catégories d'incertitudes et la méthode de mesure associée, nous présentons les résultats des différents tests.

5.1. Les différentes catégories d'erreurs et d'incertitudes testées

Nous reprenons la distinction selon les trois sources d'incertitudes présentées ci-dessus :

- source d'incertitude de type I : il s'agit des erreurs d'estimation du modèle, comprenant d'une part les erreurs d'échantillonnage et de mesure, d'autre part celles découlant d'une théorie comportementale, de spécifications ou de calages incorrects ;
- source d'incertitude de type II : ce sont les erreurs de prédiction du contexte exogène : la croissance économique et la croissance des revenus, impliquant une croissance particulière de la motorisation, la promotion immobilière, la croissance des emplois et leurs localisations, les tendances démographiques avec une population moins captive du transport public, l'évolution des contraintes temporelles sur le déroulement des activités (travail, achats, etc.) ;
- source d'incertitude de type III : il s'agit des erreurs dues à la projection dans le futur des mécanismes actuels de comportements et notamment de l'instabilité potentielle à long terme des modèles de comportement de déplacement : par exemple le couplage entre motorisation et mobilité en voiture particulière pourrait être brisé à l'avenir, ou encore les élasticités pourraient évoluer de manière significative à long terme.

La méthodologie des tests consiste à modifier de manière contrôlée les paramètres ou les entrées exogènes du modèle, et à évaluer les effets de ces modifications par rapport à deux points de comparaison qui sont :

- la situation calée par le modèle en 1995, dénommée « situation zéro » : comme tous les paramètres du modèle y sont bloqués, la situation zéro en 2005 est identique à celle en 1995 ;
- une situation de référence en 2005 dite « au fil de l'eau » : ce scénario de référence est une prolongation de la tendance passée d'évolution des entrées exogènes (populations, emplois, motorisation, revenus), sans action sur l'offre de transport.

Comme l'effet des modifications est mesuré en résultat du fonctionnement de l'ensemble du modèle, l'erreur résultante mesurée est une erreur propagée par le modèle et non seulement l'erreur attachée à tel ou tel sous-modèle.

L'analyse des sources d'incertitude de type II découle des tests de sensibilité précédents et comprend donc :

- le scénario de référence, déjà cité ;
- le trafic de transit et d'échange qui reflète la conjoncture économique générale ;

- la population et les emplois qui traduisent la dynamique démographique et urbaine propre à l'agglomération ;
- les revenus et la motorisation qui reflètent l'évolution des revenus des ménages ;
- l'offre routière programmée dans les dix ans à venir, c'est-à-dire essentiellement une rocade à péage de 11km de long, mise en service progressivement en 1997 ;

En pratique les différences entre les trois types de sources d'incertitude ne sont pas aussi tranchées, comme nous le verrons ci-après.

5.2. La mesure de ces erreurs ou incertitudes

Il va de soi que face aux nombreuses sorties du modèle, seules certaines sont à privilégier pour comparer les résultats des différents tests. Les indicateurs privilégiés lors des évaluations du modèle sont essentiellement les évolutions de la part modale des transports collectifs (efficacité de la politique de transport), de la distance totale parcourue par les voitures (aspect environnemental), et des flux de zone à zone (équilibre spatial et social de l'agglomération).

Le découpage spatial d'analyse des résultats est, comme précédemment, un découpage en trois couronnes concentriques : Lyon-Villeurbanne (centre de l'agglomération, 500.000 habitants environ), la 1^{ère} couronne et la 2^{ème} couronne, correspondant chacune à des degrés d'urbanisation très différents.

La mesure de l'écart entre la situation zéro (situation 1995) et la situation résultant de chacun des tests est faite à l'aide d'une distance du Chi2. Le critère peut être calculé pour les déplacements tous modes confondus ou pour chacun des modes de déplacement, modes légers, voiture particulière ou transports collectifs :

$$Chi2 = \sum_{i=1,3} \sum_{j=1,3} (T_{ij} - T_{ij}^0)^2 / T_{ij}^0 \quad \text{où}$$

T_{ij} est le nombre de déplacements de la zone i à la zone j en situation de test,

T_{ij}^0 est le nombre de déplacements de la zone i à la zone j en situation zéro.

C'est un critère qui cumule les carrés des écarts sur chacune des origines-destinations entre flux en situation de test et flux en situation zéro, tout en pondérant inversement chacun de ces écarts au carré par le flux en situation zéro. On obtient ainsi une mesure globale de la divergence des matrices de flux de zone à zone entre la situation de test et la situation zéro. En outre le découpage en 3 zones, soit 9 flux origine-destinations, permet d'éviter les faibles effectifs générateurs de perturbations dans le Chi2. C'est donc à chaque fois une distance du Chi2 entre la matrice origine-destination en situation zéro et la matrice en situation de test, qui est calculée : ce calcul est effectué pour la matrice tous modes confondus, et pour chacune des trois matrices, transports collectifs, voiture et modes légers.

Nous donnons à titre d'exemple les valeurs de Chi2 calculées pour le scénario de référence et l'indice de trafic en véhicules-kilomètres en heure de pointe du matin :

	Tous modes	TC	VP	ML	véhicules-km en heure de pointe du matin
Référence	41.084	2.684	57.505	12.525	2.748.000 uvp-km

5.3. Les résultats

Afin de rendre plus facilement comparables les ordres de grandeur des écarts entre la situation zéro et les situations de test, les valeurs du Chi2 sont données en base 100 par rapport au scénario de référence, pour chacun des modes. Le trafic en véhicules-kilomètres est exprimé en pourcentage de l'écart entre la situation zéro (2.147.000 uvp-km) et le scénario de référence (2.748.000 uvp-km).

Les parts modales s'établissent, en 1995, à 57% pour la voiture, à 14% pour les transports collectifs et à 29% pour les modes légers : toutes choses égales par ailleurs, les résultats sur les flux en transports collectifs d'abord, en modes légers ensuite, produiront des écarts bien plus sensibles que pour la voiture.

5.3.1. Le contexte exogène

Les effets du contexte exogène sont analysés en menant des tests séparés de l'impact de chacune des entrées exogènes, en évolution « au fil de l'eau ».

Le trafic de transit et d'échange évoluant au fil de l'eau, produit à lui seul (test E1) un écart d'une valeur moitié de l'écart entre le point zéro et le scénario de référence, en termes de flux tous modes (46) et de véhicules-kilomètres parcourus (57). Population et emplois (test E2) produisent également des écarts significatifs avec le point zéro, mais assez faible en termes de véhicules-kilomètres parcourus (11). L'évolution des revenus, de la valeur du temps, et de la motorisation (test E3) produit des écarts importants pour les flux en transports collectifs (116) et en modes légers (148). La motorisation à elle seule (test E5) produit également des écarts très importants pour les transports collectifs (187) et les modes légers (160). Par contre l'offre routière programmée d'ici 2005 ne génère pas d'écarts significatifs avec le point zéro (test E4). Enfin une valeur du temps maintenue constante mais diminuée de moitié (test E6) produit des écarts importants pour les transports collectifs (258), tandis qu'augmentée de 30% environ (test E7), elle produit des écarts marginaux avec le point zéro.

Au total, on notera les impacts particulièrement importants, d'une part du trafic de transit et d'échange sur les flux tous modes et les véhicules-kilomètres parcourus, d'autre part de la motorisation, des revenus et de la valeur du temps, sur les transports collectifs et les modes légers.

5.3.2. La génération

L'introduction de la valeur supérieure de l'erreur de prédiction (à 95%) sur la mobilité moyenne (soit +0,27, test G2), montre que l'on obtient un écart avec le point zéro proche de la moitié de celui du scénario de référence (Tous modes, 52). La combinaison de cet erreur de prédiction avec une évolution au fil de l'eau des revenus, de la motorisation et de la valeur du temps (test G1), aboutit à un écart avec le point zéro supérieur à celui du scénario de référence : cela est vrai pour la matrice OD tous modes (103) mais plus particulièrement pour la matrice OD en voiture (167). L'introduction de la valeur inférieure de l'erreur de prédiction sur la mobilité moyenne (soit -0,27, test G3) aboutit à de résultats similaires à ceux de G2.

L'incertitude sur la prévision de la mobilité moyenne peut être interprétée aussi bien comme une incertitude de type I (erreur d'estimation sur la prédiction) que comme une incertitude de type III (modification future de la relation mobilité-revenu) : au total, elle joue un rôle important dans l'incertitude sur le résultat final.

Par contre, l'introduction de variations des coefficients de génération (émission et attraction), selon les valeurs hautes et basses des intervalles de confiance de prédiction de ces coefficients, ne produit que des variations négligeables par rapport au point zéro (tests G4 à G11).

5.3.3. *La distribution*

Comme les conductances des modèles de distribution sont liées à la motorisation, l'effet d'un découplage entre la motorisation et les conductances a été testé : les conductances sont fixées aux valeurs de 1995, tandis que la motorisation est supposée évoluer au fil de l'eau (test D1). L'écart sur les flux en transports collectifs est important (340) si on le compare avec le test E5 où seule la motorisation évolue au fil de l'eau (187). En maintenant les conductances constantes, on annule l'effet direct de la motorisation sur la distribution spatiale des déplacements (étalement des déplacements en dehors de l'aire d'attraction des transports collectifs) et on produit par contrecoup des distorsions dans les flux en transports collectifs. Ces dernières s'ajoutent à celles produites par l'effet direct de la motorisation sur le choix modal en faveur de la voiture.

5.3.4. *Le choix modal*

Les tests sur le choix modal concernent, d'une part l'estimation de la part des modes légers, d'autre part le modèle de partage modal entre voiture et transports collectifs.

Les tests sur la part des modes légers ont consisté à faire varier les valeurs des paramètres a , b , c entre les valeurs extrêmes estimées selon les motifs, en prenant des valeurs identiques pour tous les motifs. Le choix de valeurs moyennes (test M1) produit des écarts faibles au point zéro pour les flux tous modes et les véhicules-kilomètres parcourus, mais élevés pour les transports collectifs (103) et les modes légers (106). Le choix de valeurs élevées (test M2) produit des écarts encore plus significatifs notamment pour les modes légers (414). L'estimation de la part des modes légers peut donc être sujette à des erreurs importantes.

Les tests sur le partage modal entre voiture et transports collectifs consistent à fixer les parts modales de zone à zone à leurs valeurs de 1995 au lieu de les laisser évoluer comme dans le modèle logit. Par rapport au scénario de référence, le test M3 produit des différences essentiellement pour les transports collectifs (233) par rapport à la voiture (70). Par rapport au test E5 de motorisation, le test M4 produit des écarts deux fois moins significatifs pour les transports collectifs (93 au lieu de 187).

La motorisation joue donc un rôle critique dans le partage modal entre voiture et transports collectifs. Tout indique que ce rôle doit être maintenu et que son intervention dans la spécification du partage modal requiert une grande vigilance.

5.3.5. *Le passage à la pointe*

Les tests sur les coefficients de passage à la pointe ont consisté à jouer sur les valeurs extrêmes mesurées pour le motif travail et pour les autres motifs : en 1995 ces coefficients varient entre 0,24 et 0,44 pour le travail, selon les origine-destinations, et valent 0,07 en intrazone et 0,04 en extrazone pour les autres motifs. Le premier test (P1) correspond à une concentration plus forte des déplacements à l'heure de pointe du matin, et produit des écarts significatifs pour tous les modes. Elle implique également un accroissement significatif des véhicules-kilomètres parcourus : la congestion de la voirie entraîne des réaffectations

d'itinéraires sur le réseau, donc des distances parcourues plus grandes. Le deuxième test (P2) correspond à un étalement de la pointe et produit également des écarts significatifs.

Les variations de ces coefficients de passage à la pointe sont donc susceptibles de produire des effets significatifs. Un étalement de la pointe semble toutefois le plus probable, comme continuation de la tendance passée. Ces coefficients de pointe sont à considérer ici comme une source d'incertitude quant au contexte exogène (catégorie II), à travers la flexibilité des horaires de travail notamment.

5.3.6. *L'affectation et l'offre de transport*

Deux séries de tests ont été menés, les uns relatifs aux temps généralisés en transports collectifs, les autres relatifs à l'affectation sur le réseau routier.

L'uniformisation des constantes de préférence à 0 minutes (test A3) revient à favoriser fortement les transports collectifs (401), sans changer de manière significative les autres modes.

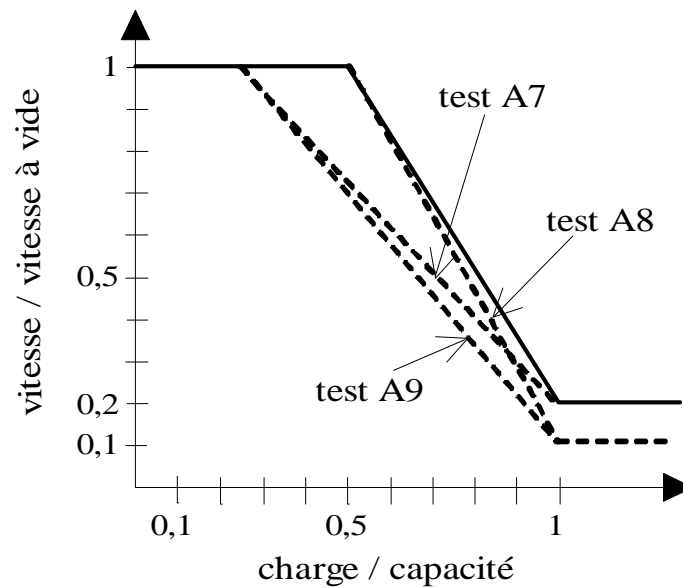
Le coefficient de pénibilité de temps d'accès au réseau de transports collectifs mis à 1 au lieu de 2 et le coefficient de pénibilité de temps d'attente mis à 1 au lieu de 1,8 (test A4), revient également à favoriser les transports collectifs, surtout dans les zones où ce temps d'accès est élevé : en effet il est de l'ordre de 5 à 10 minutes selon les zones alors que le temps moyen de déplacement porte-à-porte en transports collectifs est de l'ordre de 30 minutes. L'amélioration pour les transports collectifs est moindre toutefois que dans le cas précédent (28). Il ne se produit également aucun écart significatif pour les autres modes.

Il s'agit bien sûr de valeurs extrêmes qui ont été testées, alors que, comme nous l'avons évoqué précédemment, ces valeurs sont issues d'un modèle d'affectation sur un réseau de transports collectifs largement validé par l'expérience à Lyon. Toutefois ces tests montrent la grande sensibilité des flux en transports collectifs aux valeurs de ces paramètres : leur importance est cruciale pour évaluer des stratégies à long terme visant à améliorer la qualité de service des transports collectifs (accès, attente, correspondances), plutôt que leur vitesse pure.

La deuxième série de tests a consisté à jouer sur le nombre d'itérations dans la procédure d'affectation (impact de la convergence), et sur la forme de la courbe débit-vitesse.

Le nombre d'itérations (à 5 en standard) n'a quasiment aucun impact sur les flux (tests A5 et A6). La courbe reliant les ratios vitesse sur vitesse à vide et charge sur capacité a été déformée de diverses manières.

Les différentes courbes d'affectation testées



Le test A7 consiste à faire jouer la congestion dès que la charge atteint un quart de la capacité de la liaison de zone à zone, au lieu de la moitié en standard. Cette modification produit des écarts significatifs pour tous les modes, mais pas pour les véhicules-kilomètres parcourus, reflétant là un report entre modes. Le test A8 consiste à abaisser la vitesse à un dixième de la vitesse à vide au lieu de deux dixièmes quand la charge égale la capacité : ce test ne produit pas d'écarts significatifs. Le test A9 consiste est une combinaison des tests A7 et A8 et produit des écarts très importants sur les flux tous modes (187) ainsi que pour chacun des modes. Il produit également une baisse des véhicules-kilomètres parcourus (-39), reflétant l'effet de la congestion marquée sur le report modal.

Ces tests montrent que si la convergence de l'algorithme d'affectation ne semble pas avoir d'impacts importants, la courbe débit-vitesse joue un rôle critique.

Contexte exogène	paramètres du modèle modifiés		Distance du chi2 avec la matrice OD en situation zéro . La base 100 est le scénario de référence				
tous les paramètres sont bloqués sauf :			Tous modes	TC	VP	ML	uvp-km en hpm
scénario de référence		R	100	100	100	100	100%
trafic de transit et d'échange		E1	46	38	28	28	57%
populations et emplois		E2	57	68	27	52	11%
revenus, valeur du temps et motorisation		E3	38	116	70	148	29%
offre routière prévue		E4	1	1	0	2	7%
motorisation (1,5% par an)		E5	26	187	47	160	25%
valeur du temps = 35F/h 1995		E6	53	258	25	115	-18%
valeur du temps = 100F/h 1995		E7	5	29	2	12	4%
Génération							
revenus, valeur du temps et motorisation	mobilité + 0,27 (erreur de prédiction haute)	G1	103	65	167	27	32%
	mobilité + 0,27 (erreur de prédiction haute)	G2	52	43	22	64	4%
	mobilité - 0,27 (erreur de prédiction basse)	G3	52	41	22	65	-4%
	coef de génération 'travail' émis 1,03 attirés 0,85	G4	0	1	0	0	4%
	coef de génération 'travail' émis 0,97 attirés 0,75	G5	0	1	0	0	-4%
	coef de génération 'enseignement primaire' émis 1,30 attirés 1,43 ; 'secondaire' émis 1,24 attirés 1,25 ; 'supérieur' émis 0,91 attirés 3,4	G6	0	5	0	0	-
	coef de génération 'enseignement primaire' émis 1,12 attirés 1,07 ; 'secondaire' émis 1,12 attirés 1,15 ; 'supérieur' émis 0,81 attirés 1,25	G7	0	10	0	0	-
	coef de génération 'achats' émis 0,38 attirés 11,5	G8	0	0	0	0	-
	coef de génération 'achats' émis 0,33 attirés 8,75	G9	0	0	0	0	-
	coef de génération valeurs maximales 'travail', 'achats', 'scolaires'	G10	0	10	0	1	4%

	coef de génération valeurs minimales 'travail', 'achats', 'scolaires'	G11	0	15	0	1	-4%
Distribution							
motorisation (1,5% par an)	conductances fixées aux valeurs 1995	D1	1	340	25	38	7%
Choix modal							
	facteurs de modes légers a, b, c identiques pour tous motifs à 3, 2 et 0,5	M1	0	103	18	106	-4%
	facteurs de modes légers a, b, c identiques pour tous motifs à 6, 4 et 0,5	M2	0	156	38	414	-4%
référence	partage modal sur les flux OD D25 fixé aux valeurs 1995	M3	98	233	70	115	93%
motorisation (1,5% par an)	partage modal sur les flux OD D25 fixé aux valeurs 1995	M4	31	93	21	180	18%
Passage à la pointe							
	coef de pointe résidence-travail = 0,5, intrazones = 0,1, extrazones = 0,05	P1	58	48	36	62	79%
	coef de pointe résidence-travail = 0,2, intrazones = 0,04, extrazones = 0,02	P2	69	118	44	77	-82%
Offre de transport et affectation							
	constantes de préférences = 0 mn	A3	3	401	2	16	-4%
	coef temps d'accès et temps d'attente = 1, pénalités d'accès = 0 mn, temps normé à 1	A4	0	28	0	2	-
	Affectation, nb iter = 10	A5	1	3	1	0	-4%
	Affectation, nb iter = 3	A6	0	1	0	0	-
	Affectation, courbe 1	A7	42	26	25	32	-21%
	Affectation, courbe 2	A8	8	27	5	3	-4%
	Affectation, courbe 3	A9	187	127	115	191	-39%

6. Conclusions et perspectives

L'analyse des erreurs propres au calage du modèle, en référence aux erreurs de mesure, montre qu'il existe encore une marge d'amélioration en ce qui concerne la distribution spatiale des déplacements et le choix modal. Nous revenons sur cette question ci-après au sujet des perspectives d'évolution du modèle. Auparavant nous voudrions dresser un bilan des principales sources d'incertitudes quand on utilise ce type de modèle dans la prévision.

Vers une maîtrise pragmatique de l'incertitude

L'analyse de la sensibilité du modèle à quelques grandes évolutions tendanciennes du contexte a montré l'importance de ce contexte dans la formation des prévisions, ainsi que la capacité du modèle à mettre en évidence le jeu séparé des différentes composantes de ce contexte. L'importance du rôle de ce dernier est confirmée par l'exploration des sources d'incertitudes.

Le bilan des sources d'incertitudes les plus importantes est le suivant :

- des incertitudes de type I (erreurs d'estimation) : dans l'affectation routière, la forme de la courbe débit-vitesse peut avoir un impact particulièrement fort sur les flux en voiture, et par contrecoup sur le choix modal et la distribution ;
- des incertitudes de type II (erreurs de prédiction du contexte) : ces incertitudes concernent la plupart des paramètres exogènes, c'est-à-dire le trafic de transit et d'échange, les populations active et scolaires, les emplois, les revenus et la motorisation, mais aussi les rythmes temporels d'activités (passage à la pointe) ;
- des incertitudes de type III (erreurs de projection dans le futur des mécanismes actuels de comportements) : il s'agit des coefficients de pénibilité dans le calcul du temps généralisé en transports collectifs, du lien entre mobilité et revenu, de la relation entre conductance et motorisation, ainsi que de la relation entre motorisation et choix modal. Ces incertitudes de type III peuvent parfois aussi être vues comme des incertitudes de type I (une erreur de projection étant interprétée comme une erreur d'estimation).

La principale incertitude de type I, ici la forme de la courbe débit-vitesse, nécessite des investigations plus poussées pour valider la robustesse de cette courbe.

Les incertitudes de type exclusivement II ou III, ne peuvent être maîtrisées que par une stratégie de « maîtrise pragmatique de l'incertitude » : par cette expression nous entendons la mise en œuvre de simulations multiples, testant une politique de transport donnée sous plusieurs contextes exogènes contrastés. C'est l'unique moyen d'évaluer l'ampleur des risques qui doivent être assumés lorsqu'une politique de transport est mise en œuvre.

Plus particulièrement, les incertitudes de type III peuvent faire l'objet d'approches concurrentes, soit en essayant d'affiner les modèles courants par inclusion de nouvelles variables ou par de nouvelles formalisations, soit en adoptant la stratégie de maîtrise de l'incertitude évoquée plus haut. Cette alternative peut être illustrée par l'exemple du couplage entre motorisation, mobilité et usage de la voiture. La tendance passée, reflétée dans la spécification et le calage des différents sous-modèles, est celle d'un impact direct de la motorisation sur l'usage de la voiture et l'intensité de déplacement. Cependant on ne peut exclure que, dans un futur proche, les politiques de gestion de la demande puissent provoquer un découplage entre motorisation et intensité d'usage de la voiture, par analogie avec le

découplage observé entre PIB et consommation d'énergie. Or rien n'indique que les modèles actuels fondés sur les préférences révélées ni même les enquêtes d'adaptations déclarées, soient aptes à fournir des estimations précises des mécanismes futurs de comportements. La seule stratégie possible nous semble donc une stratégie d'exploration de ces incertitudes, en testant plusieurs spécifications possibles de couplage ou de découplage entre motorisation et usage de la voiture, comme cela a été esquissé dans les tests précédents.

Les perspectives d'évolution

Les évolutions futures du modèle seront guidées par l'évaluation des résultats des tests d'erreur et de sensibilité. Il s'agit essentiellement de :

- corriger l'étape de partage modal qui débute par une estimation des déplacements en modes légers, fonction de la surface de la zone et de sa motorisation moyenne : le calage de la part des modes légers devrait mieux prendre en compte les déplacements à pied réalisés dans Lyon-Villeurbanne par les non-résidents (dont les caractéristiques n'influent pas sur le paramètre de motorisation moyenne de la zone) ; un calage du partage modal devrait également être testé directement sur les trois modes (marche à pied, voiture particulière et transports collectifs) et non par étape ;
- corriger la mécanique du modèle qui réalise le partage modal après la distribution spatiale des déplacements : cette mécanique produit des effets jugés irréalistes quand on révolutionne le système de transport routier, soit par une forte congestion, soit par des tarifications élevées ; cela passe probablement par une étape simultanée de distribution et partage modal, réalisée pour chaque motif principal ;
- reprendre plus généralement les modèles de distribution et de partage modal sous forme différentielle, où les valeurs à l'année n sont estimées en fonction des valeurs à l'année $n-1$ et des variations d'offre et de demande entre $n-1$ et n : cela afin d'être mieux en cohérence avec l'approche pas-à-pas et afin de surmonter la difficulté de prédire correctement les flux de zone à zone ou les parts modales à partir des seules caractéristiques d'offre et de demande explicitement spécifiées, sans tenir compte de l'histoire du système ;
- tester la robustesse de la courbe débit-vitesse, au besoin à l'aide d'autres modèles calés sur la situation lyonnaise ;
- mieux représenter l'offre en transports collectifs, comme cela a déjà été souligné dans le rapport de *Présentation générale* (SEMALY, LET, 1997b) : il s'agit de mieux prendre en compte la logique d'axes et de hiérarchie des réseaux dans un cadre zonal qui, lui, est adapté à la capillarité du réseau routier : formalisation de l'accès au réseau de transports collectifs, globalisation des fréquences et des temps de parcours, ruptures de charge, etc.
- mieux prendre en compte l'impact de l'état de l'offre routière sur les temps de déplacement internes aux zones (actuellement supposé constants) ;
- isoler en tant que paramètres les taux d'occupation des véhicules (impacts de politiques de co-voiturage) et les coefficients de passage à la pointe (hypothèses d'étalement de la pointe).

7. Annexe

Les différentes spécifications initiales des modèles logit de choix modal

On trouvera ci-après les spécifications logit initiales pour les motifs travail, enseignement supérieur, achats et autres motifs. Les modèles ont été calés en considérant l'ensemble des flux entre les 25 zones sur les trois enquêtes (approche 'cross-section') en réduisant pour certains motifs l'échantillon des flux aux flux d'effectifs statistiquement significatifs. Puis le calage des paramètres a été affiné en utilisant le solveur d'Excel pour ajuster au mieux l'évolution au cours des trois enquêtes. Les valeurs finales retenues après affinement sont exposées dans le tableau des paramètres de choix modal dans le corps du texte et peuvent différer des valeurs initiales calées : ces dernières sont, à l'exception des constantes ('Intercept'), les valeurs inverses des paramètres de spécification (cf. spécification du modèle de choix modal en section 1).

Pour des raisons de cohérence théorique évidente, le parti a été pris de retenir un modèle de choix modal identique dans sa forme fonctionnelle quelque soit le motif. Ce choix, qui peut être contesté, fait que l'on n'a pas toujours retenu ce qui aurait pu être le meilleur modèle empirique initial pour chacun des motifs.

Paramètres	Résidences / Travail	Résidences / Achats	Résidences / Enseignement Supérieur	Autres motifs
Constante	-1,587	-1,323	0,957	-2,256
densité	0,004	0,006	0,003	0,003
ttc*mot	-0,059	-0,120	-0,047	-0,062
tvpmot	0,017	0,021	-0,002*	0,031
L(0)	400878	130078	29160	815406
$L(\beta)$	360194	99637	28238	738696
$2*(L(0) - L(\beta))$	81367	60881	2044	153419
ρ^2	0,102	0,234	0,035	0,094
N (observations redressées)	750692	273306	46066	1822734
Pourcentage de prédictions correctes**	69%	77%	58%	75%

* non significatif

**Ce pourcentage de prédictions correctes est calculé à partir de la part des usagers TC effectivement affectés par le modèle aux TC et de celle des usagers VP effectivement affectés par le modèle à la VP, parts sommées sur l'ensemble des flux de zone à zone, somme rapportée au total des flux. Contrairement à certaines pratiques, on n'accordera pas trop d'importance à ce dernier critère qui donne l'illusion d'une qualité alors qu'il peut masquer, par le jeu des compensations d'erreurs, un ajustement peu performant.

REFERENCES

- ASHLEY, D.J. (1981) Uncertainty in interurban highway-scheme appraisal. In *New Horizons in Travel-Behavior Research*, Stopher, P.R., Meyburg, A.H., Brög, W. (eds) Lexington Books, pp. 599-615, 1981
- BATES, J., BREWER, M., HANSON, P., McDONALD, D., SIMMONDS, D. 1991. *Building a strategic model for Edinburgh*, PTRC Summer Annual Meeting, Sept 1991.
- BEN-AKIVA, M.E., BOWMAN, J.L., GOPINATH, D. (1996) Travel demand model system for the information era. *Transportation* 23 :241-266, 1996
- BONNAFOUS, A. 1985. Simulation du financement du transport urbain : le modèle QuinQuin, *Transports Urbains* n°54, janvier-mars 1985.
- BONNAFOUS, A., TABOURIN, E. (1995) *Modèles de simulation stratégique*. Communication à la 7^{ème} WTCR, Sydney, Juillet 1995, 17 p.
- BONNEL, P., CHAPLEAU, R., LEE-GOSSELIN, M., RAUX, C. (1997) *Les enquêtes de déplacements urbains. Mesurer le présent, simuler le futur*. Editions du Programme Rhône-Alpes Recherches en Sciences Humaines, Centre Jacques Cartier, Lyon, 1997, 513p.
- BOUF, D. 1989. *Un nouvel instrument d'analyse stratégique pour la RATP : le modèle Gros QuinQuin*. Thèse de l'Université Lumière-Lyon2, Laboratoire d'Economie des Transports, Lyon.
- DUFFUS, L.N., ALFA, A.S., SOLIMAN, A.H. (1987) The reliability of using the gravity model for forecasting trip distribution. *Transportation* 14 :175-192, 1987
- FAIVRE D'ARCIER, B., ANDAN, O., RAUX, C. (1998) Stated Adaptation Surveys and Choice Process: Some Methodological Issues. (forthcoming in *Transportation*)
- GOODWIN (P.B.), 1988, *Evidence on car and public transport demand elasticities 1980-1988*, TSU Ref 427, Oxford, June 1988.
- HOROWITZ, J.L. (1981) Sources of Error and uncertainty in behavioural travel-demand models. In *New Horizons in Travel-Behavior Research*, Stopher, P.R., Meyburg, A.H., Brög, W. (eds) Lexington Books, pp. 543-558, 1981
- JONES, D., MAY, T., WENBAN-SMITH, A. 1990. Integrated transport studies: lessons from the Birmingham study. *Traffic Engineering+Control*. Nov.1990, pp.572-576.
- JONES, P.M., 1979a. "HATS" : a technique for investigating household decisions. *Environment and Planning A*, vol 11, pp 59-70
- KITAMURA, R., PAS, E.I., LULA, C.V., LAWTON, T.K., BENSON, P.E. (1996) The sequenced activity mobility simulator (SAMS) : an integrated approach to modeling transportation, land use and air quality. *Transportation* 23 :267-291, 1996.
- KOPPELMAN, F.S. (1981) Uncertainty in methods and measurements for travel behavior models. In *New Horizons in Travel-Behavior Research*, Stopher, P.R., Meyburg, A.H., Brög, W. (eds) Lexington Books, pp. 577-583, 1981
- LEE-GOSSELIN, M., 1990. The Dynamics of Car Use Patterns Under Different Scenarios : A Gaming Approach. In JONES P. (ed), *Developments in Dynamic and Activity-Based Approaches to Travel Analysis*, Oxford Studies in Transport, Gower Press, Aldershot, UK.
- MAY, A.D., ROBERTS, M., HOLMES, A. 1991. *The development of integrated transport strategies for Edinburgh*, PTRC Summer Annual Meeting, Sept 1991.
- McKINDER, I.H., EVANS, S.E. 1981. *The predictive accuracy of British transport studies in urban areas*, LGORU, Working Note 20.
- OLDFIELD, R.H. 1993. *A Strategic Transport Model for the London Area*, Research Report 376, Transport Research Laboratory, Crowthorne, UK.
- ORTUZAR, J. 1992 (ed). *Simplified transport demand modelling*. PTRC, London, 153 p.
- RAUX (C.), ANDAN (O.), GODINOT (C.) (1994) *The simulation of behaviour in a non-experienced future : the case of road-pricing*. Paper to the 7th IATBR Conference, 13-16 Juin 1994, Valle Nevado, Chili (to be published).

- RAUX, C., ANDAN, O. 1988. *Les analyses des comportements de mobilité individuelle quotidienne, une synthèse bibliographique*. Rapport pour le SERT, LET, Lyon Juillet 1988
- RAUX, C., TABOURIN E. 1992. Congestion et crise du financement des transports à Lyon : vers un péage urbain ? In RAUX C. et LEE-GOSSELIN M. (eds), *La mobilité urbaine : de la paralysie au péage ?*, éditions du PPSH, 1992, Lyon.
- SEMALY, LET (1997a) *Développement d'un modèle stratégique de simulation des déplacements. Guide de l'utilisateur*. Février 1997, 33p.
- SEMALY, LET (1997b) *Développement d'un modèle stratégique de simulation des déplacements. Présentation générale*. Février 1997, 28p. + annexes.
- SKINNER, A., HAYNES, C. 1992. Birmingham City Centre Transportation Model. The concept, development and use of a multi-mode transportation model, *Traffic Engineering + Control*, vol.33, n°12, Dec 1992.
- SLAVIN, H. (1996) An integrated, dynamic approach to travel demand forecasting. *Transportation* 23 :313-350, 1996
- SPEAR, B.D., New approaches to transportation forecasting models. A synthesis of four research proposals. *Transportation* 23 :215-240, 1996
- STOPHER, P.R., HARTGEN, D., LI, Y. (1996) SMART : simulation model for activities, ressources and travel. *Transportation* 23 :293-312, 1996
- TABOURIN, E. 1989. *Un modèle de simulation du financement des transports collectifs urbains à l'an 2000 : le modèle QuinQuin, Application à l'agglomération lyonnaise*. Thèse d'Université, Université Lumière Lyon 2, septembre 1989.
- TALVITIE, A., DEGHANI, Y., ANDERSON, M. (1982) An Investigation of prediction errors in work trip mode choice models. *Transpn. Res.-A*, vol. 16A, No 5-6, pp. 395-402
- TALVITIE, A.P. (1981) Inaccurate or incomplete data as a source of uncertainty in econometric or attitudinal models of travel behavior. In *New Horizons in Travel-Behavior Research*, Stopher, P.R., Meyburg, A.H., Brög, W. (eds) Lexington Books, pp. 559-575, 1981